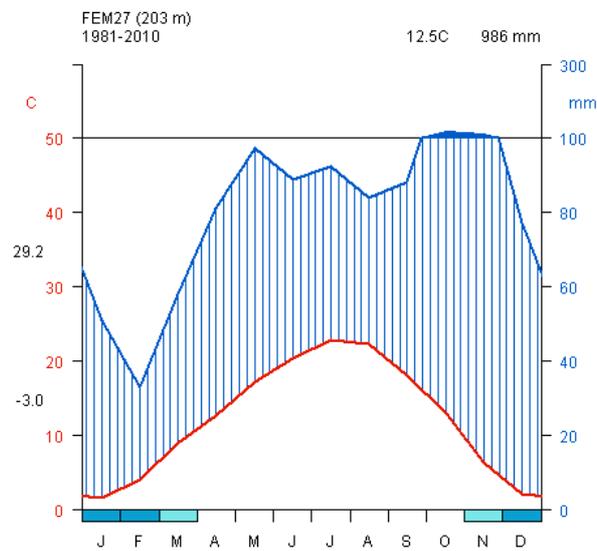


PROGETTO INDICLIMA – ELABORAZIONE DI INDICI CLIMATICI PER IL TRENTINO

- RELAZIONE FINALE -



*San Michele all'Adige, 21.04.2015
a cura di Emanuele Eccel, resp. di progetto*

elaborazioni a cura di E. Cordano ed E. Eccel

SOMMARIO

1. Introduzione	3
2. Serie meteorologiche analizzate	3
3. Classificazione climatica di Köppen – Geiger per stazione.....	4
4. Continentalità / oceanicità	7
5. Aridità / umidità.....	9
6. Classificazione dell'aridità in base al bilancio idrico di Thornthwaite.....	16
7. Climogrammi.....	19
8. Classificazione secondo indici agro-climatici	21
9. Effetti del cambiamento climatico sulla classificazione climatica	27
10. Analisi delle serie sub-giornaliere di precipitazione	29
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	32
APPENDICE A – DETTAGLIO DI GRAFICI E TABELLE ALLEGATI NEL CD ROM	34
APPENDICE B – RIFERIMENTI PER GLI INDICI DI CONTINENTALITA' / OCEANICITA'	35
APPENDICE C – RIFERIMENTI PER GLI INDICI DI ARIDITA' / UMIDITA'	36

1. Introduzione

Questo progetto – inserito nel più ampio programma di Atlante Climatico del Trentino e co-finanziato nel 2013 dal Fondo Provinciale per il Cambiamento Climatico - rappresenta il punto di arrivo della elaborazione delle condizioni climatiche tipiche nelle diverse stazioni di cui sono disponibili le serie strumentali per il trentennio 1981 – 2010. La finalità del progetto è stata la quantificazione di ciò che viene usualmente ricercato nella definizione climatica di un'area, esaminando anche diversi periodi di aggregazione temporale del dato. Ognuno degli indici valutati in questa indagine, essendo derivato da temperatura e/o precipitazione, si presta ad essere incluso nel sistema di visualizzazione ed ulteriore elaborazione della piattaforma ClimAtlas, realizzata anch'essa nell'ambito del programma di Atlante Climatico del Trentino; una parte dei risultati di IndiClima, di fatto, è entrata direttamente a far parte di tali elaborazioni (vedere nota 1 nell'elenco più sotto).

Le attività di progetto e gli indicatori climatici considerati sono quelli elencati di seguito:

- classificazione climatica secondo Köppen – Geiger;
- indici di oceanicità / continentalità;
- indici di aridità;
- valutazione dell'aridità in base al bilancio idrico di Thornthwaite;
- indici di temperatura e precipitazione medie ed estreme (es. alcuni degli indici sviluppati da ETCCDMI per la temperatura – Peterson et al., 2001)¹;
- indici agro-bioclimatici (in particolare quelli selezionati da OIV, 2012);
- rappresentazione grafica dei climogrammi di Bagnouls – Gaussen, di Peguy, di Walter – Lieth;
- indici di precipitazione sub-giornaliera, calcolati sulle serie disponibili per il periodo 1983 – 2012.

Per quanto l'obiettivo del progetto IndiClima non fosse propriamente quello di quantificare il cambiamento climatico, alcune considerazioni sono anche state svolte nei confronti dello “spostamento” derivante dal cambiamento in atto, confrontando le classificazioni valide per l'attuale trentennio di riferimento (1981 – 2010) con quelle ricavate dal periodo impiegato tradizionalmente nella gran parte dei lavori di classificazione climatica degli ultimi venti anni (1961 – 1990).

Per il calcolo degli indici di classificazione climatica standard e per il bilancio idrico, nonché per la visualizzazione grafica, è stato creato un software R ad hoc (pacchetto ClimClass), pubblicato con licenza GNU sulla piattaforma R-cran (Eccel and Cordano, 2014).

Nella presente relazione alcuni prodotti vengono esemplificati mediante tabelle o grafici, la totalità dei quali viene fornita su supporto CD ROM allegato (vedere Appendice A per dettaglio).

2. Serie meteorologiche analizzate

Sono state analizzate le serie delle stazioni sul territorio provinciale (Tab. 1), appartenenti alla Fondazione E. Mach (FEM) e alla Provincia Autonoma di Trento – Meteotrentino (PAT) che presentassero una lunghezza sufficiente per calcolare le condizioni climatiche per il periodo 1981 – 2010, ultimo periodo trentennale di riferimento secondo gli standard della World Meteorological

¹ Parte non inserita nella relazione in quanto già realizzata mediante una collaborazione con FBK per la piattaforma ClimAtlas, dove è possibile visualizzare le elaborazioni (<https://climatlas.fbk.eu/>)

Organization (WMO). E' stata richiesta una percentuale di dati validi minima dell'85%. Per alcune stazioni le serie derivano dall'unione di due, come evidenziato in tabella. Le serie sono state ricavate da precedenti elaborazioni svolte in occasione del progetto CLITRE.100 e CLITRE.50.

Nota importante: nelle tabelle e grafici gli identificativi delle serie sono semplificati, riportando solo l'identificativo della serie più recente, nel caso di unione di due (vedere Tab. 1).

Nel caso dell'analisi delle serie sub-giornaliere di precipitazione il periodo disponibile, coincidente con il periodo di presenza dei rilievi orari, è più breve e si riferisce al trentennio 1983 – 2012.

Le posizioni delle stazioni sono ben distribuite sul territorio e secondo l'altimetria, andando dai 90 m della stazione gardesana di Torbole (Belvedere) fino all'ambiente di vetta di Cima Paganella (2125 m); tale varietà è in grado di rappresentare adeguatamente tutti gli ambiti climatici trentini.

Nome stazione	ID	Quota (m slm)	Bilancio idrico	Precipitazioni sub- giornaliere	Classificazioni climatiche e climogrammi	Indici agro-bioclimatici
STAZIONI FONDAZIONE E. MACH + METEOTRENTINO						
Polsa	FEM13	1310	X		X	
Ronzo – Chienis	FEM21 / T0211	957	X		X	X
San Michele	FEM27 / T0038	203	X	X	X	X
Ala	FEM30 / T0154	172	X	X	X	X
Cles	FEM31 / T0083	656	X	X	X	X
Levico Terme	FEM52 / T0010	502		X	X	X
Mezzolombardo	FEM58 / T0090	204	X	X	X	X
Pergine	FEM67 / T0001	457	X		X	X
Predazzo	FEM87 / T0102	1001	X	X	X	
STAZIONI METEOTRENTINO						
Telve (Pontarso)	T0014	925	X	X	X	X
Pieve Tesino	T0018	785	X	X	X	X
Lavarone (Chiesa)	T0032	1155	X	X	X	
Pejo	T0064	1565	X	X	X	
Pian Fedaia	T0092	2063	X	X	X	
Paganella	T0099	2125	X	X	X	
Passo Rolle	T0103	2012	X	X	X	
Trento Laste	T0129	312	X	X	X	X
Sant'Orsola	T0139	925	X	X	X	X
Rovereto	T0147	203	X	X	X	X
Vallarsa (Speccheri)	T0149	875	X	X	X	
Santa Massenza	T0189	252	X	X	X	
Torbole	T0193	90	X	X	X	
Bezzecca	T0204	698	X	X	X	
Folgaria	T0210	1121	X	X	X	
Passo Tonale	T0360	1875	X	X	X	
Pejo	T0366	1585	X		X	
Cavalese	T0367	958	X		X	
Monte Bondone	T0368 / T0144	1490	X		X	
Daone (M.ga Bissina)	T0373	1785	X		X	

Tab. 1 – Anagrafica delle serie analizzate. Gli acronimi doppi indicano serie ottenute dall'omogeneizzazione delle due rispettive serie unite

3. Classificazione climatica di Köppen – Geiger per stazione

Tra i diversi criteri di classificazione climatica, quello che è stato maggiormente utilizzato fino ad oggi è certamente la classificazione di Köppen – Geiger (più spesso indicata semplicemente come “Köppen”). Proposta originariamente già nel 1900 dal russo Wladimir Köppen, è stata più volte rivista nei dettagli. E' stata impiegata in questo studio la definizione dei tipi climatici e dei sottotipi data in Trewartha and Lyle (1980). La classificazione di Köppen identifica cinque tipi principali di

clima, cui corrispondono altrettanti tipi di vegetazione prevalente. I cinque tipi, designati da lettere maiuscole, sono i seguenti:

- A: tropicali piovosi, senza stagione fresca;
- B: climi genericamente secchi (BW: desertico; BS: steppico);
- C: climi piovosi delle medie latitudini, con inverni miti (mesotermici);
- D: climi piovosi delle medie latitudini, con inverni rigidi (microtermici);
- E: climi polari, senza stagione calda.

Ognuna di queste categorie presenta poi dei sottotipi, attribuiti a seconda della distribuzione delle precipitazioni nell'anno e al grado di rigidità invernale o di piovosità. Così, per esempio, le lettere minuscole *f*, *s* e *w* indicano la ricorrenza stagionale delle precipitazioni. Altri sottotipi possono riguardare condizioni climatiche particolari, come il regime monsonico (*m*) o quello della regione del Gange (*g*), entrambi per il clima tropicale, o la ricorrenza di nebbie (*n*). Concentrandosi sui climi delle medie latitudini (C e D), i tipi ricorrenti sono i seguenti:

- *f*: assenza di una vera stagione secca;
- *s*: presenza di un periodo secco estivo;
- *w*: presenza di un periodo secco invernale.

Ulteriori sottotipi sono identificati a seconda dell'entità delle temperature nel mese più caldo o più freddo (*a, b, c, i*) o del periodo più piovoso (*x*). Analogamente per i climi freddi D, con qualche piccola differenza (assenza di *i* e *x*, presenza di *d* per indicare un clima particolarmente rigido). Per ogni dettaglio si rimanda alla pubblicazione citata.

Il risultato di questa classificazione è riportato, per il trentennio 1981-2010, nella Tab. 2 (ultima colonna). La tabella riassume anche le grandezze calcolate per la classificazione climatica. Tutto il Trentino ricade nei tipi climatici C (mesotermici) e D (microtermici), quest'ultimo comprendente la fascia altitudinale superiore ai 1800 - 1900 m circa, con caratteristiche prettamente alpine. Per tutte le stazioni il sottotipo è *f*, che indica l'assenza di una stagione secca nell'anno. Il secondo sottotipo può essere di tipo *a* (estate calda, temperatura del mese più caldo pari almeno a 22 °C); *b* (estate fresca, temperatura del mese più caldo inferiore a 22 °C) o *c* (estate fresca e breve, meno di 4 mesi con temperatura media di almeno 10 °C). I sottotipi *i* e *x* (che potrebbero coesistere con la prima classe di sottotipo, essendo determinati dal regime pluviometrico e non da quello termico) non si verificano. Questi criteri portano i tipi D del Trentino tutti nei sottotipi *f* - *c*. Per quanto nell'analisi non fossero comprese stazioni superiori a 2125 m di quota, anche a quote superiori non si possono incontrare le condizioni per attribuire il sottotipo climatico alla classe *Cfc*, che richiederebbe temperature del mese più freddo inferiori a -38 °C.

La classificazione climatica, così come la classificazione di aridità, continentalità e il bilancio idrico secondo Thornthwaite, è stata condotta con il pacchetto "ClimClass" (Eccel et al., 2014), disponibile gratuitamente sul sito R-cran per utenti R (R Development Core Team, 2011). E' stata impiegata, in particolare, la funzione "koeppen_geiger".

ID	Nome	Quota (m slm)	T_w.m	T_c.m	T_avg	P_tot	P_wint	P_summ	P_d.m	P_d.m. summ	P_d.m. wint	P_w.m	P_w.m. summ	P_w.m. wint	T_4th_ w.m	class
FEM13	Polsa	1310	15.6	-0.9	6.8	1129.0	480.8	648.2	41.6	84.2	41.6	126.7	126.7	114.9	11.8	Cfb
FEM21 / T0211	Ronzo – Chienis	957	17.9	-0.2	8.3	1178.4	504.6	673.8	53.0	99.8	53.0	140.1	140.1	120.4	13.2	Cfb
FEM27 / T0038	San Michele	203	22.8	1.7	12.5	986.3	414.5	571.8	33.0	84.0	33.0	120.4	120.4	113.9	18.2	Cfa
FEM30 / T0154	Ala	172	22.9	2.9	13.0	943.4	399.8	543.6	34.2	81.6	34.2	111.6	111.6	96.7	18.6	Cfa
FEM31 / T0083	Cles	656	19.8	0.7	10.2	954.3	402.4	551.9	40.4	80.5	40.4	115.5	107.6	115.5	15.6	Cfb
FEM52 / T0010	Levico Terme	442	21.4	0.2	10.8	1016.6	397.4	619.2	34.4	92.9	34.4	119.7	119.7	114.0	16.6	Cfb
FEM58 / T0090	Mezzolombardo	204	23.0	1.5	12.4	1004.8	438.3	566.5	42.0	84.3	42.0	117.5	117.5	116.3	18.1	Cfa
FEM67 / T0001	Pergine	457	21.4	0.7	11.1	1041.9	425.3	616.6	39.9	90.5	39.9	123.4	123.4	118.4	16.7	Cfb
FEM87 / T0102	Predazzo	1001	18.6	-0.3	8.9	987.6	374.5	613.1	37.0	84.8	37.0	113.9	113.9	103.9	14.2	Cfb
T0014	Telve (Pontarso)	925	17.8	0.0	8.4	1129.9	403.6	726.3	38.0	99.0	38.0	137.9	137.9	100.5	13.4	Cfb
T0018	Pieve Tesino	785	18.2	0.6	9.1	1307.3	518.3	789.0	46.8	114.6	46.8	142.2	142.2	134.7	14.3	Cfb
T0032	Lavarone (Chiesa)	1155	17.5	-0.5	7.8	1314.2	552.1	762.1	52.3	109.3	52.3	154.9	154.4	154.9	13.0	Cfb
T0064	Pejo	1565	15.5	-0.4	6.8	903.2	361.6	541.6	36.7	75.7	36.7	101.2	101.2	94.5	11.6	Cfb
T0092	Pian Fedaia	2063	12.0	-4.9	3.0	1040.2	324.7	715.5	29.4	108.8	29.4	128.7	128.7	94.4	8.1	Dfc
T0099	Paganella	2125	11.0	-5.0	2.2	948.4	301.2	647.2	29.5	99.6	29.5	116.1	116.1	89.3	7.2	Dfc
T0103	Passo Rolle	2012	11.5	-4.2	3.0	1302.8	447.0	855.8	37.8	133.3	37.8	149.3	149.3	128.7	7.9	Dfc
T0129	Trento Laste	312	23.3	1.6	12.6	936.5	418.7	517.8	33.9	78.1	33.9	116.7	94.6	116.7	17.8	Cfa
T0139	Sant'Orsola	925	19.9	1.4	10.4	982.9	346.8	636.1	31.7	93.2	31.7	118.8	118.8	92.1	15.7	Cfb
T0147	Rovereto	203	24.4	2.5	13.3	956.1	397.6	558.5	38.9	83.7	38.9	113.0	113.0	97.9	18.8	Cfa
T0149	Vallarsa (Speccheri)	875	18.9	1.6	9.7	1508.9	707.3	801.6	60.1	102.1	60.1	194.4	191.1	194.4	14.7	Cfb
T0189	Santa Massenza	252	21.1	3.5	12.2	893.6	367.0	526.6	36.1	79.3	36.1	106.8	106.8	97.2	17.4	Cfb
T0193	Torbole	90	23.8	3.6	13.5	964.5	402.1	562.4	38.1	86.4	38.1	115.7	115.7	103.7	19.2	Cfa
T0204	Bezzecca	698	20.7	0.9	10.4	1253.0	505.7	747.3	40.3	109.0	40.3	148.4	148.4	145.4	15.8	Cfb
T0210	Folgaria	1121	18.2	0.3	8.7	1204.5	515.1	689.4	48.3	97.8	48.3	135.4	135.4	127.5	13.9	Cfb
T0360	Passo Tonale	1875	12.8	-4.1	3.8	1288.1	491.7	796.4	45.6	122.1	45.6	147.8	147.8	127.9	8.6	Dfc
T0366	Pejo	1585	15.4	-0.5	6.7	935.6	372.3	563.3	36.1	77.0	36.1	103.7	103.7	99.5	11.5	Cfb
T0367	Cavalese	958	18.2	-0.3	8.6	790.3	263.2	527.1	25.6	76.6	25.6	95.7	95.7	67.1	13.8	Cfb
T0368 / T0144	Monte Bondone	1490	14.3	-2.5	5.4	1326.2	519.2	807.0	44.5	118.1	44.5	159.6	159.6	145.0	10.1	Cfb
T0373	Daone (M.ga Bissina)	1785	13.3	-2.6	4.8	1642.6	663.0	979.6	53.0	152.8	53.0	177.7	176.4	177.7	9.6	Cfc

Tab. 2 – Classificazione climatica di Köppen – Geiger per le stazioni del Trentino (legenda alla pagina successiva)

Legenda Tab. 2: T_w.m = temperatura del mese più caldo (°C)
 T_c.m = temperatura del mese più freddo (°C)
 T_avg = temperature media (°C)
 P_tot = precipitazione totale annua (mm)
 P_wint = precipitazione nei 6 mesi più freddi (invernali) (mm)
 P_summ = precipitazione nei 6 mesi più caldi (estivi) (mm)
 P_d.m = precipitazione nel mese più secco (mm)
 P_d.m.summ = precipitazione nel mese più secco del semestre “estivo” (mm)
 P_d.m.wint = precipitazione nel mese più secco del semestre “invernale” (mm)
 P_w.m = precipitazione nel mese più umido (mm)
 P_w.m.summ = precipitazione nel mese più umido del semestre “estivo” (mm)
 P_w.m.wint = precipitazione nel mese più umido del semestre “invernale” (mm)
 T_4th_w.m = temperature del quarto mese più caldo (°C)
 class = classe climatica (risultante dal tipo climatico e dal/i sottotipo/i)

4. Continentalità / oceanicità

La continentalità di un clima è la caratteristica di risentire della forte distanza da masse marine od oceaniche (la caratteristica opposta si dice infatti “oceanicità”), che ha come conseguenza un’accentuata escursione termica annuale. Anche il regime pluviometrico è influenzato dalla continentalità, che generalmente fa decrescere gli apporti idrici allontanandosi dalla costa. Fanno eccezione i massicci montuosi, dove in generale le precipitazioni crescono alle quote superiori.

Gli indici di continentalità sono spesso calcolati sull’escursione termica annuale. Dal semplice indice I_c di Rivas - Martinez proposto nell’ambito del Worldwide Bioclimatic Classification System (1996 – 2009), che consiste nella semplice differenza di temperatura tra il mese più caldo e quello più freddo, si passa ai classici indici di Gorczynski (1920) e della rivisitazione di Conrad (1946), che compensano la naturale diminuzione dell’escursione termica verso l’equatore considerando la latitudine tra le variabili presenti della formula.

L’indice di “continentalità igrica” proposto da Gams (1932) propone invece un approccio basato sugli apporti idrici annuali in relazione alla posizione altimetrica. L’indice viene quindi espresso come un angolo dato dal rapporto tra le due grandezze. Michalet e Souchier (1991) hanno proposto una correzione di questo indice per quote inferiori a 900 m, per tenere conto di come in realtà, nel regime pluviometrico alpino, si possa schematizzare una normale riduzione degli apporti idrici alle quote inferiori; in questo studio è stata analizzata anche questa correzione, ritenuta effettivamente migliorativa.

Le quattro equazioni impiegate per la definizione del grado di continentalità sono le seguenti, dove T_m è la temperatura media dei singoli 12 mesi, Lat la latitudine (gradi), P la precipitazione totale annua (mm) e H la quota (m):

$$\text{Gorczynski (1920): } K_G = 1.7 \frac{\max(T_m) - \min(T_m)}{\text{sen}(\text{Lat} - 20.4)}$$

$$\text{Conrad (1946): } K_C = 1.7 \frac{\max(T_m) - \min(T_m)}{\text{sen}(\text{Lat} - 14)}$$

$$\text{Rivas-Martinez (1996-2009): } I_C = \max(T_m) - \min(T_m)$$

$$\text{Gams (1932): } \alpha = \text{arc cotg} \frac{P}{H}$$

$$\text{Gams corretto Michalet e Souchier (1991): } \alpha = \text{arc cotg} \frac{P - \frac{900 - H}{100} \frac{P}{10}}{H}$$

I riferimenti per la classificazione di continentalità / oceanicità si trovano nell'App. B.

ID	Nome	Quota (m slm)	K _G	K _C	α	α Michalet	Ic
FEM13	Polsa	1310	18.7	19.9	49.2	49.2	16.5
FEM21 / T0211	Ronzo – Chienis	957	22.5	23.2	39.1	39.1	18.1
FEM27 / T0038	San Michele	203	29.3	29.2	11.6	34.2	21.1
FEM30 / T0154	Ala	172	27.0	27.1	10.3	33.8	20.0
FEM31 / T0083	Cles	656	24.5	25.0	34.5	42.3	19.1
FEM52 / T0010	Levico Terme	442	29.7	29.5	26.3	39.4	21.2
FEM58 / T0090	Mezzolombardo	204	30.3	30.0	11.5	33.7	21.5
FEM67 / T0001	Pergine	457	28.5	28.4	23.7	38.2	20.7
FEM87 / T0102	Predazzo	1001	24.0	24.6	45.4	45.4	18.9
T0014	Telve (Pontarso)	925	21.6	22.5	39.3	39.3	17.8
T0018	Pieve Tesino	785	21.1	22.1	31.0	34.2	17.6
T0032	Lavarone (Chiesa)	1155	22.2	22.9	41.3	41.3	18.0
T0064	Pejo	1565	17.0	18.5	60.0	60.0	15.9
T0092	Pian Fedaia	2063	19.2	20.5	63.2	63.2	16.9
T0099	Paganella	2125	17.3	18.8	66.0	66.0	16.0
T0103	Passo Rolle	2012	16.5	18.1	57.1	57.1	15.7
T0129	Trento Laste	312	30.8	30.5	18.4	39.0	21.7
T0139	Sant'Orsola	925	23.2	23.9	43.3	43.3	18.5
T0147	Rovereto	203	31.5	31.0	12.0	35.0	21.9
T0149	Vallarsa (Speccheri)	875	20.7	21.6	30.1	30.7	17.3
T0189	Santa Massenza	252	21.2	22.1	15.8	38.7	17.6
T0193	Torbole	90	27.4	27.5	5.3	26.2	20.2
T0204	Bezzecca	698	26.5	26.7	29.1	34.9	19.8
T0210	Folgaria	1121	22.0	22.7	42.9	42.9	17.9
T0360	Passo Tonale	1875	19.4	20.6	55.5	55.5	16.9
T0366	Pejo	1585	17.0	18.5	59.5	59.5	15.9
T0367	Cavalese	958	23.1	23.8	50.5	50.5	18.5
T0368 / T0144	Monte Bondone	1490	19.3	20.4	48.3	48.3	16.8
T0373	Daone (M.ga Bissina)	1785	17.1	18.6	47.4	47.4	15.9

Tab. 3 – Indici di continentalità / oceanicità. K_G: indice di Gorczynski; K_C: indice di Conrad; α : indice di Gams (con o senza correzione di Michalet); Ic: indice di Rivas – Martinez. Per la classificazione si vedano i prospetti dell'App. B. I quattro indici di continentalità citati sono stati calcolati per le stazioni con disponibilità dei dati, applicando la funzione “contin” del citato pacchetto R ClimClass. I risultati sono riportati in Tab. 3.

Secondo gli indici di Gorczynski e di Conrad, tutte le stazioni considerate in Trentino appartengono ad una classe “Marittima di transizione” (verso la continentalità). Le stazioni più vicine a questo

termine (valori di circa 30 degli indici) sono quelle dell'asta dell'Adige: Rovereto, Trento, San Michele, Mezzolombardo, dove l'escursione termica annuale è maggiore, soprattutto in virtù delle elevate temperature estive.

Secondo il Worldwide Bioclimatic Classification System, che propone una definizione più articolata del grado di continentalità, il Trentino è compreso nelle seguenti categorie:

- euoceanica: stazioni in quota, al di sopra dei 1000 m circa;
- semicontinentale: stazioni di mezza montagna, sopra il fondovalle atesino e fino a 1000 m circa;
- sub-continentale: stazioni nel fondovalle atesino.

Nelle classificazioni basate sulla temperatura, la stazione di Torbole (T0193), pur vicina a quelle del fondovalle atesino, si configura con un grado di continentalità un po' minore, vista la mitigazione delle temperature dovute al regime dei venti particolare del Garda.

La classificazione di Gams, basata invece sulla relazione tra quota (e quindi temperatura) e apporto idrico, offre una classificazione diversa. Un primo gruppo di stazioni, con indice inferiore a 40, viene classificato come "oceanico pre-alpino"; esso comprende le stazioni a quota di fondovalle o collina. Nella classe di continentalità "intermedia" stanno molte stazioni di montagna ancora in ambito vallivo (ma fino ai 1785 m di M.ga Bissina); la maggior parte delle stazioni a quota maggiore di 1500 m circa si trovano nel tipo "continentale interalpino". La correzione introdotta di Michalet aumenta il grado di continentalità, mantenendo tuttavia l'attribuzione alla classe di tipo "oceanico pre-alpino" di tutte le stazioni poste alle quote inferiori a 900 m, le sole a cui si applica.

Come si vede, per quanto venga applicata la medesima categoria ad indici costruiti con grandezze diverse, i risultati portano a conclusioni per nulla sovrapponibili. Infatti, prescindendo dalla posizione geografica, non si considera la differente esposizione delle stazioni a bassa quota al regime di accumulo di aria fredda nei bassi strati, che porta ad avere nei mesi invernali temperature meno lontane da quelle di montagna di quanto non si verifichi in estate. Le elevate temperature estive determinano perciò un'escursione termica annuale generalmente maggiore per le stazioni poste alle basse quote, che risultano così classificate, secondo gli indici basati sulla temperatura, in categorie di continentalità superiori alle stazioni montane. Diverso è il caso della continentalità basata sulla posizione altimetrica in relazione alle precipitazioni; la classificazione di Gams attribuisce un grado di continentalità superiore alla fascia più montana del territorio.

5. Aridità / umidità

Il concetto di clima arido o umido (con tutti i gradi in cui questa schematizzazione si manifesta) è insito in ogni classificazione climatica di per sé, prima fra tutte proprio quella di Köppen, qui impiegata. Tuttavia, l'uso di indici specifici chiarisce con maggior dettaglio il grado di aridità o di umidità del clima di una regione. In generale, gli indici di aridità hanno lo scopo di stimare in modo molto approssimativo la possibilità del verificarsi o meno di condizioni di deficit idrico durante l'anno; per fare ciò, risulta necessario stimare le perdite evapotraspirative annuali (o in qualche caso con dettaglio superiore, mensile). E' chiaro che se manca del tutto un dettaglio della distribuzione delle precipitazioni nel corso dell'anno, la stima delle condizioni di deficit risente della distribuzione teorica presa a modello per la creazione degli indici.

Sono stati considerati in questo lavoro sei indici:

1. De Martonne (1925) - I_a (annuale e mensile);
2. Thornthwaite (1948) - I_m (annuale e mensile);
3. Emberger (1955) - Q (annuale);
4. Lang (1920) - R (annuale);
5. Rivas-Martinez (sito internet) - I_o (annuale);

6. UNEP (1997) - A_i (annuale).

Indicando con P la precipitazione (in mm), con T la temperatura media (in °C), con $T_{a.n}$ la temperatura assoluta minima del mese più freddo (in K), con $T_{a.x}$ la temperatura assoluta massima del mese più caldo (in K), con T_m la temperatura media di un mese (in °C), con P_m le precipitazioni di un mese (in mm), con ET l'evapotraspirazione annuale (in mm), si ha:

$$\text{De Martonne: } I_a = \frac{P}{T + 10}$$

$$\text{Thornthwaite: } I_m = 100 \left(\frac{P}{ET} - 1 \right)$$

$$\text{Emberger: } Q = 2000 \frac{P}{T_{a.x}^2 - T_{a.n}^2}$$

$$\text{Lang: } R = \frac{P}{T}$$

$$\text{Rivas - Martinez: } I_o = \sum \frac{T_m | T_m > 0}{P_m | T_m > 0}$$

$$\text{UNEP: } A_i = \frac{P}{ET}$$

Il calcolo dell'evapotraspirazione potenziale mensile (ET_m) è stato eseguito con la formula di Hargreaves and Samani (1985):

$$ET_m = 0.0023 \sqrt{T_x - T_n} \cdot (T_m + 17.8) \cdot C_R \cdot lm \cdot C_H$$

con T_x , T_n , T_m rispettivamente medie delle temperature mensili massime, minime e medie, C_R il valore medio mensile della radiazione extra-atmosferica, lm lunghezza del mese in giorni, C_H coefficiente di correzione (calibrazione) per la formula di Hargreaves (è stato valutato per le stazioni trentine in 0.75).

Gli indici di De Martonne e Thornthwaite si prestano anche ad applicazioni mensili, per meglio definire il regime nei diversi periodi dell'anno. Per questi due indici perciò sono stati calcolati anche i rispettivi valori mensili.

I sei indici di aridità citati sono stati calcolati per le stazioni con disponibilità dei dati, applicando la funzione "arid" del citato pacchetto R ClimClass. I risultati delle elaborazioni sono riportati in Tab. 4. I riferimenti per la classificazione di aridità / umidità si trovano nell'App. C.

Secondo De Martonne, tutte le stazioni trentine rientrano nel tipo "Molto umido"; all'interno di questa classe, 13 si trovano nel sottotipo "a", prevalentemente alle quote più basse, e 17 nel sottotipo "b", prevalente alle quote superiori. Tutte le stazioni del fondovalle della Vallagarina e della Valle dei Laghi si trovano nel sottotipo "a".

ID	Nome	Quota (m slm)	I _a	I _m	Q	R	I _o	A _i
FEM13	Polsa	1310	67.34	138.86	169.65	166.85	11.23	2.39
FEM21 / T0211	Ronzo – Chienis	957	64.25	107.41	157.24	141.27	11.09	2.07
FEM27 / T0038	San Michele	203	43.84	29.72	107.01	78.90	6.58	1.30
FEM30 / T0154	Ala	172	41.09	29.10	110.21	72.80	6.07	1.29
FEM31 / T0083	Cles	656	47.26	38.66	112.66	93.64	7.80	1.39
FEM52 / T0010	Levico Terme	442	48.84	37.83	109.32	93.98	7.83	1.38
FEM58 / T0090	Mezzolombardo	204	44.91	28.37	105.36	81.20	6.77	1.28
FEM67 / T0001	Pergine	457	49.44	37.20	110.41	94.08	7.84	1.37
FEM87 / T0102	Predazzo	1001	52.25	40.45	112.01	110.97	8.87	1.40
T0014	Telve (Pontarso)	925	61.32	79.87	141.08	134.11	10.71	1.80
T0018	Pieve Tesino	785	68.42	98.22	160.26	143.53	11.96	1.98
T0032	Lavarone (Chiesa)	1155	73.69	113.11	162.09	167.77	11.70	2.13
T0064	Pejo	1565	53.87	54.86	119.11	133.48	9.39	1.55
T0092	Pian Fedaia	2063	80.32	112.99	136.46	352.61	15.09	2.13
T0099	Paganella	2125	77.42	136.75	147.77	421.51	14.22	2.37
T0103	Passo Rolle	2012	99.90	191.63	189.02	428.32	18.96	2.92
T0129	Trento Laste	312	41.51	29.04	104.01	74.57	6.21	1.29
T0139	Sant’Orsola	925	48.26	38.80	115.75	94.81	7.90	1.39
T0147	Rovereto	203	40.98	34.38	108.14	71.71	5.98	1.34
T0149	Vallarsa (Speccheri)	875	76.43	135.63	193.80	154.89	12.91	2.36
T0189	Santa Massenza	252	40.30	26.89	112.56	73.40	6.12	1.27
T0193	Torbole	90	41.04	30.13	111.26	71.44	5.95	1.30
T0204	Bezzecca	698	61.32	70.59	137.37	120.10	10.01	1.71
T0210	Folgaria	1121	64.56	86.94	148.63	139.11	11.59	1.87
T0360	Passo Tonale	1875	93.51	168.71	178.90	341.22	15.64	2.69
T0366	Pejo	1585	56.08	65.57	125.73	139.99	9.85	1.66
T0367	Cavalese	958	42.53	12.09	88.65	92.07	6.99	1.12
T0368 / T0144	Monte Bondone	1490	86.30	147.34	175.77	247.12	16.26	2.47
T0373	Daone (M.ga Bissina)	1785	111.11	220.85	221.06	343.40	20.49	3.21

Tab. 4 – Indici di aridità / umidità annuali. I_a: indice di De Martonne; I_m: indice di Thornthwaite; Q: quoziente pluviometrico di Emberger; R: pluviofattore di Lang; I_o: indice ombrotermico di Rivas – Martinez; A_i: indice di aridità di UNEP. Per la classificazione si vedano i prospetti dell’App. C.

Secondo il criterio di Thornthwaite, tutte le stazioni trentine rientrano nella macrocategoria dei climi umidi. La stazione di Cavalese è l’unica a rientrare nel clima “Sub-umido – umido” (C2), le altre stazioni sono tutte nella classe di clima “umido” (con gradazione crescente da B1 a B4), mentre nella definizione di clima “perumido” rientrano le stazioni a maggior quota, in virtù della bassa temperatura e spesso delle più elevate precipitazioni, ma anche alcune stazioni a quota di mezza montagna (Ronzo – Chienis, Vallarsa, Lavarone), situate nella fascia di maggior piovosità della regione.

Risultati di classificazione simili si ottengono con il “quoziente pluviometrico” Q di Emberger: ancora Cavalese risulta in una tipologia climatica “subumida”, tutte le altre stazioni rientrano nella classe “umida”.

Il “fattore pluviometrico” R di Lang offre una categorizzazione un po’ diversa, in quanto le stazioni meno umide sono classificate nella classe di transizione tra i climi aridi e quelli umidi (“temperato caldo”); questa classe comprende le stazioni a più bassa quota ma anche un paio di esempi di stazioni di mezza montagna (Cavalese e Sant’Orsola). Nella classe “temperata umida” ricadono per lo più le stazioni di mezza montagna, mentre in quella “umida” le stazioni a maggior quota e quelle con maggiore piovosità, superiori ai 1100 m circa.

La classificazione di Rivas – Martinez (Worldwide Bioclimatic Classification System) identifica climi dal “subumido” (principalmente le stazioni a quota minore, più Cavalese), fino a “iperumido” (stazioni di alta quota, superiori a 1500 - 1600 m), con le stazioni intermedie nella classi di clima “umido”.

Infine, la più recente classificazione di UNEP, finalizzata a studi sulla desertificazione, contiene le stesse informazioni dell’indice di Thornthwaite (posto che l’evapotraspirazione sia calcolata con lo stesso metodo), pur presentando una scala di classificazione diversamente organizzata. Essa classifica genericamente il clima di tutte le stazioni trentine come “umido”, risultando perciò di limitato interesse per una classificazione climatica in ambito alpino.

Nella fig. 1 sono rappresentati i grafici che mettono in relazione, per ogni possibile coppia di indici, i ranghi secondo cui vengono classificati i relativi indici di aridità. Ogni punto del grafico rappresenta quindi una stazione e le coordinate i valori dei rispettivi indici. Si nota correlazione da buona a ottima per ogni coppia, che però cade talvolta in difetto per valori bassi degli indici (climi relativamente meno umidi). Avendo calcolato la mediana del rango per ogni classificazione di aridità / umidità, è possibile verificare la correlazione di tale rango con la quota della stazione (valori bassi del rango indicano un minore grado di umidità del clima). La fig. 2 rappresenta tale relazione, molto ben significativa, come si può apprezzare.

Per quanto riguarda la classificazione per mese (indici I_a e I_m), si vedano le Tabb. 5 e 6. Secondo De Martonne, i climi delle stazioni trentine, genericamente “molto umidi”, passano nella categoria “umidi” solo per le stazioni più calde (di bassa quota) in alcuni periodi estivi. Secondo Thornthwaite, invece, anche nel dettaglio mensile i climi delle stazioni trentine rimangono nella categoria “sub-umido umido”, salvo essere inquadrati come “umidi (B1)” solo nel tardo autunno e solo per le stazioni più in quota.

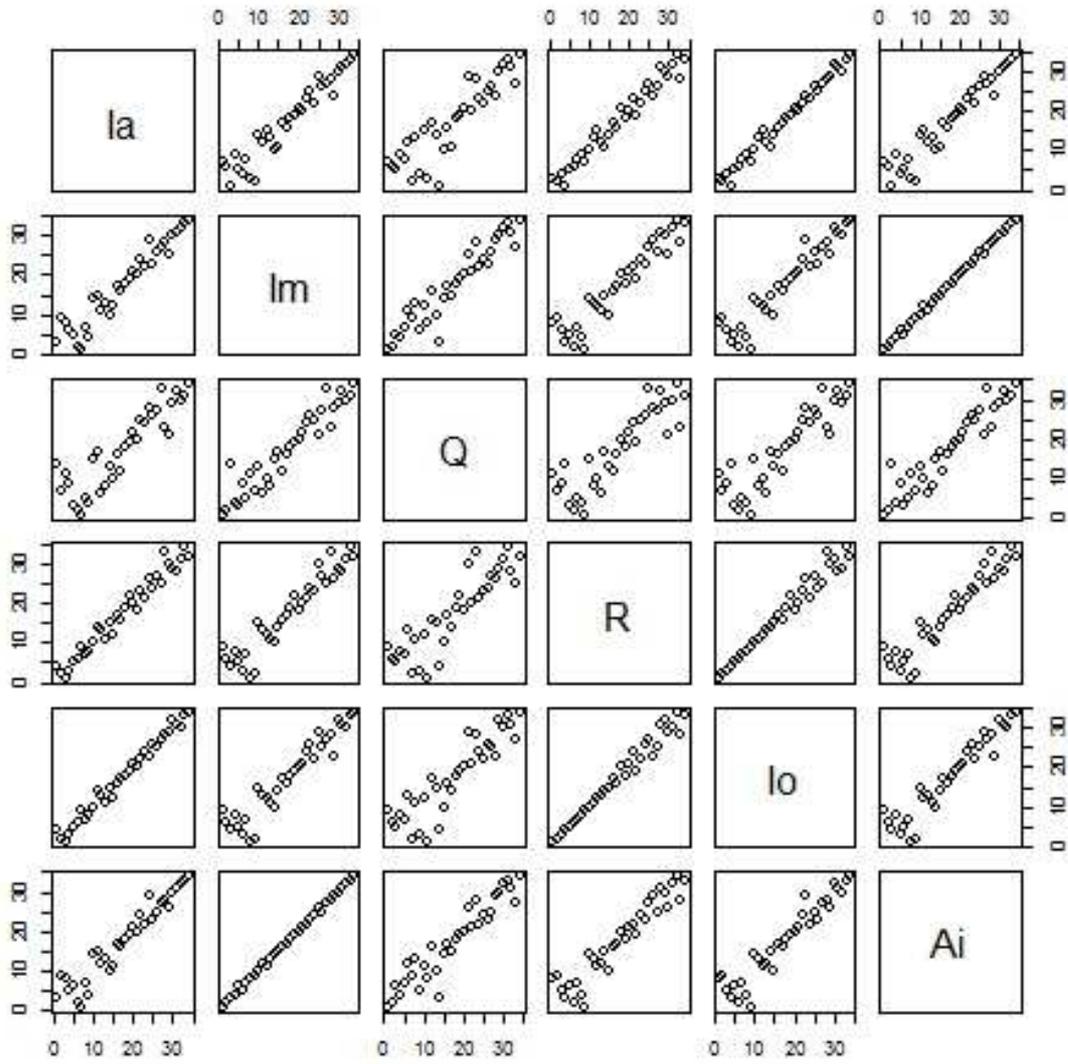


Fig. 1 - correlazione tra i ranghi degli indici di aridità per tutte le stazioni. Si veda il § 4 per il significato degli indici.

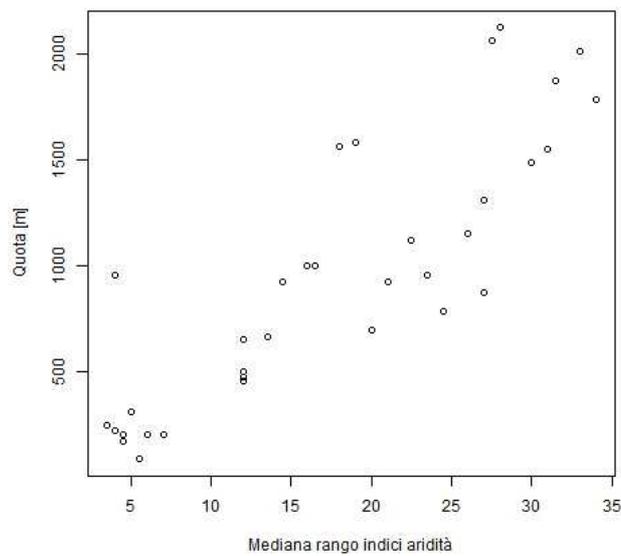


Fig 2 – Legame quota – mediana dei ranghi degli indici climatici di aridità / umidità.

ID	Nome	Quota (m slm)	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
FEM13	Polsa	1310	77.1	54.3	73.9	78.2	72.6	53.0	46.1	39.8	65.5	84.9	106.9	116.5
FEM21 / T0211	Ronzo – Chienis	957	80.8	61.8	60.8	72.4	61.5	51.6	42.9	44.8	56.2	89.4	107.0	104.9
FEM27 / T0038	San Michele	203	52.3	27.9	36.6	43.1	43.0	35.0	33.9	31.2	37.6	62.8	83.3	76.8
FEM30 / T0154	Ala	172	49.3	27.4	33.8	43.8	39.6	37.0	31.1	30.2	34.7	56.8	66.3	70.8
FEM31 / T0083	Cles	656	48.1	39.7	38.8	50.6	49.2	38.1	32.4	36.9	40.6	62.1	93.0	73.4
FEM52 / T0010	Levico Terme	442	54.4	34.4	36.9	48.3	49.0	41.6	35.5	40.6	44.5	67.1	91.2	76.0
FEM58 / T0090	Mezzolombardo	204	55.8	36.5	39.8	46.3	43.6	35.5	30.7	31.9	37.8	61.8	86.7	79.8
FEM67 / T0001	Pergine	457	60.2	38.0	40.1	46.7	47.9	42.6	34.6	39.2	43.5	67.9	92.9	81.4
FEM87 / T0102	Predazzo	1001	47.0	40.0	43.5	52.8	56.5	48.4	47.8	43.8	42.1	60.7	89.1	75.8
T0014	Telve (Pontarso)	925	56.2	42.6	52.0	68.9	70.0	59.7	49.0	52.9	50.8	88.5	84.8	70.9
T0018	Pieve Tesino	785	60.1	49.3	60.7	80.4	75.8	64.3	48.8	55.2	61.2	84.5	110.7	96.0
T0032	Lavarone (Chiesa)	1155	75.7	64.0	71.7	84.5	76.8	61.9	47.7	51.7	61.2	100.2	140.8	112.1
T0064	Pejo	1565	49.1	45.9	49.0	68.6	62.0	47.0	42.6	41.7	42.1	66.3	90.7	67.6
T0092	Pian Fedaia	2063	74.3	63.0	66.2	79.9	86.8	79.2	68.2	68.9	71.0	90.0	120.5	105.0
T0099	Paganella	2125	64.4	72.7	74.1	79.4	80.8	72.5	59.9	62.5	73.3	101.7	123.2	84.6
T0103	Passo Rolle	2012	96.0	78.2	94.4	112.0	106.8	91.5	83.3	80.6	89.4	122.0	162.6	123.8
T0129	Trento Laste	312	43.7	28.5	33.2	40.8	41.1	35.6	31.4	30.8	35.5	62.5	80.1	67.5
T0139	Sant'Orsola	925	37.1	30.4	37.3	50.4	54.4	48.0	39.7	42.9	43.5	67.9	72.2	56.9
T0147	Rovereto	203	48.3	32.2	34.3	41.4	38.5	35.2	31.3	31.3	34.9	58.0	68.7	69.4
T0149	Vallarsa (Speccheri)	875	75.7	58.6	71.5	104.1	79.7	57.5	42.4	45.8	58.8	111.9	152.5	128.6
T0189	Santa Massenza	252	35.2	30.1	35.6	44.4	38.9	35.4	35.9	30.8	34.7	55.5	65.9	52.6
T0193	Torbole	90	43.1	30.7	36.2	43.3	40.8	35.1	31.1	31.7	35.5	57.1	67.6	61.3
T0204	Bezzecca	698	65.5	40.0	54.7	71.5	61.7	51.7	47.4	48.1	50.7	85.2	114.8	76.3
T0210	Folgaria	1121	72.1	53.2	62.2	86.2	70.6	54.8	41.6	46.2	51.4	84.6	109.3	91.1
T0360	Passo Tonale	1875	110.0	88.3	90.4	111.0	103.7	79.0	67.1	68.2	78.8	112.6	161.6	154.3
T0366	Pejo	1585	51.9	45.6	49.6	71.0	64.1	48.5	45.1	45.7	43.0	68.0	95.5	69.8
T0367	Cavalese	958	32.7	28.7	34.7	42.0	46.7	43.3	40.7	37.4	38.6	54.7	59.2	50.3
T0368 / T0144	Monte Bondone	1490	88.2	66.8	81.1	107.7	96.3	75.5	60.4	61.1	70.5	118.2	155.4	112.7
T0373	Daone (M.ga Bissina)	1785	119.1	86.0	109.8	146.5	120.8	94.7	82.6	78.7	96.4	131.5	182.3	160.0

Tab. 5 – Indice di aridità mensile di De Martonne (Ia). Per la classificazione si vedano i prospetti dell' App. B.

ID	Nome	Quota (m slm)	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
FEM13	Polsa	1310	10.3	7.0	10.3	11.4	10.8	7.8	6.7	5.7	9.8	12.8	15.7	16.4
FEM21 / T0211	Ronzo – Chienis	957	11.0	8.2	8.5	10.6	9.1	7.6	6.3	6.6	8.3	13.6	15.9	14.8
FEM27 / T0038	San Michele	203	7.0	3.6	5.1	6.2	6.2	5.0	4.9	4.4	5.4	9.4	12.4	10.8
FEM30 / T0154	Ala	172	6.7	3.5	4.6	6.3	5.7	5.3	4.4	4.3	4.9	8.4	9.7	10.0
FEM31 / T0083	Cles	656	6.3	5.2	5.3	7.3	7.2	5.5	4.6	5.3	5.8	9.2	13.8	10.1
FEM52 / T0010	Levico Terme	442	7.1	4.4	5.0	6.9	7.2	6.1	5.1	5.9	6.5	10.0	13.5	10.5
FEM58 / T0090	Mezzolombardo	204	7.5	4.8	5.5	6.7	6.3	5.1	4.4	4.6	5.4	9.2	12.9	11.2
FEM67 / T0001	Pergine	457	8.1	5.0	5.5	6.7	7.0	6.2	5.0	5.7	6.3	10.2	13.8	11.4
FEM87 / T0102	Predazzo	1001	6.0	5.1	5.9	7.5	8.3	7.1	7.1	6.4	6.0	8.9	13.0	10.3
T0014	Telve (Pontarso)	925	7.4	5.5	7.2	10.1	10.5	8.9	7.2	7.9	7.4	13.4	12.3	9.6
T0018	Pieve Tesino	785	8.0	6.5	8.6	12.0	11.5	9.7	7.2	8.3	9.2	12.9	16.7	13.6
T0032	Lavarone (Chiesa)	1155	10.1	8.5	10.1	12.5	11.6	9.3	7.0	7.7	9.1	15.4	21.5	15.8
T0064	Pejo	1565	6.3	5.8	6.6	9.8	9.1	6.8	6.2	6.0	6.0	9.7	13.0	9.0
T0092	Pian Fedaia	2063	8.5	7.2	8.4	11.1	12.9	11.9	10.2	10.4	10.5	13.3	17.0	12.7
T0099	Paganella	2125	7.3	8.2	9.3	10.8	11.8	10.8	8.8	9.2	10.8	15.0	17.1	10.2
T0103	Passo Rolle	2012	11.8	9.3	12.5	16.0	16.2	14.0	12.8	12.3	13.5	18.6	23.7	16.0
T0129	Trento Laste	312	5.7	3.7	4.5	5.8	6.0	5.1	4.5	4.4	5.1	9.3	11.8	9.3
T0139	Sant'Orsola	925	4.8	3.9	5.1	7.2	8.0	7.1	5.8	6.3	6.3	10.1	10.4	7.7
T0147	Rovereto	203	6.5	4.2	4.7	5.9	5.6	5.1	4.5	4.5	5.0	8.6	10.0	9.8
T0149	Vallarsa (Speccheri)	875	10.5	8.0	10.3	16.0	12.2	8.6	6.2	6.7	8.8	17.6	24.0	19.1
T0189	Santa Massenza	252	4.6	3.9	4.9	6.3	5.6	5.1	5.2	4.4	4.9	8.2	9.6	7.3
T0193	Torbole	90	5.8	4.0	5.0	6.2	5.9	5.0	4.4	4.5	5.1	8.5	9.9	8.6
T0204	Bezzecca	698	8.9	5.2	7.7	10.6	9.3	7.7	7.0	7.1	7.5	13.0	17.5	10.6
T0210	Folgaria	1121	9.8	7.0	8.7	12.9	10.6	8.2	6.0	6.8	7.5	12.8	16.3	12.8
T0360	Passo Tonale	1875	13.6	10.8	12.3	16.3	15.8	12.0	10.1	10.3	11.8	17.0	23.5	20.2
T0366	Pejo	1585	6.7	5.8	6.6	10.2	9.4	7.0	6.6	6.6	6.1	9.9	13.8	9.3
T0367	Cavalese	958	4.0	3.5	4.6	5.8	6.7	6.3	5.9	5.4	5.5	7.9	8.2	6.5
T0368 / T0144	Monte Bondone	1490	11.4	8.5	11.3	16.0	14.7	11.4	9.0	9.1	10.5	18.2	23.3	15.3
T0373	Daone (M.ga Bissina)	1785	16.0	11.0	15.4	22.2	18.7	14.6	12.7	12.1	14.9	20.5	28.0	22.8

Tab. 6 – Indice di aridità mensile di Thornthwaite (Im). Per la classificazione si vedano i prospetti dell'App. B.

6. Classificazione dell'aridità in base al bilancio idrico di Thornthwaite

In aggiunta alle classificazioni internazionali standard, si è voluta quantificare con un dettaglio maggiore l'attitudine del clima di ogni sito ad essere soggetto ad episodi siccitosi secondo un bilancio idrico semplificato, da condurre con le serie mensili di temperatura e precipitazioni. Si è seguito il metodo di Thornthwaite, adattandolo leggermente alle condizioni realmente caratterizzanti il clima alpino delle medie latitudini; si vedano al riguardo: Thornthwaite (1948), Thornthwaite and Mather (1948, 1955). Si è già trovato un impiego di questo approccio nello studio delle condizioni di aridità con fini di classificazione (Drago, 2005). Tale metodo ha, inoltre, assunto un suo ruolo di riferimento da quando fu adottato come "metodo standard" per il calcolo del regime idrico dei suoli dalla Soil Taxonomy dell'U.S. Dep. of Agric. (USDA).

A differenza del calcolo degli indici climatici esposti sinora, basati semplicemente sulla conoscenza dei valori medi mensili su un lungo periodo, il metodo di Thornthwaite richiede la conoscenza di una serie continua di valori mensili di temperatura e precipitazione, su cui calcola la serie dei bilanci idrici mensili; da questa serie, che dovrà avere una lunghezza opportuna (tipicamente trentennale) sarà poi possibile ricavare le statistiche (in termini di quantili) che consentono di identificare le caratteristiche di aridità o di umidità del clima, in base alla ricorrenza di situazioni di deficit o surplus. Oltre ai valori di temperatura media e precipitazione, sono richiesti come input i valori di radiazione extra-atmosferica per la località e alcuni parametri, di cui il più importante è il massimo contenuto idrico immagazzinabile nel suolo (capacità di campo). Tale valore è ovviamente in forte dipendenza dalle caratteristiche pedologiche del suolo, e quindi andrebbe conosciuto sito per sito. Nell'attuale impossibilità di inserire questa informazione, ma anche per una maggiore generalizzazione dei risultati, tale valore è stato impostato in questo studio pari a 100 mm. Altri parametri richiesti riguardano il calcolo dell'accumulo e dello scioglimento nivale, in climi temperati non così rilevanti, ai fini del calcolo dell'aridità, considerando che il periodo critico è quello estivo (Thornthwaite aveva però sviluppato originariamente il metodo per il Canada).

Il bilancio viene condotto, classicamente, valutando l'accumulo nel suolo, fino al valore massimo raggiungibile impostato, e calcolando così deficit e surplus, che dà luogo a ruscellamento. Ai fini della valutazione delle condizioni di aridità risulta più interessante definire le condizioni di deficit, che si verificano quando la richiesta evapotraspirativa supera gli afflussi; in tali condizioni, il flusso evapo-traspirativo attinge alla riserva nel suolo, diminuendone il contenuto fino al suo totale utilizzo secondo una formula esponenziale. Per maggiori dettagli si veda, ad esempio, Drago (2005).

L'implementazione del metodo di Thornthwaite è stata eseguita con la funzione "thornthwaite" del pacchetto R ClimClass. Tale funzione porta alla compilazione di tabelle che riassumono la statistica dei bilanci per ogni stazione. Tali tabelle, di cui si riporta un esempio (Tab. 7), sono contenute nel CD dati allegato alla presente relazione.

Le applicazioni grafiche del pacchetto consentono la stampa dei relativi grafici mensili climatologici che esprimono le curve delle diverse componenti del bilancio secondo diversi percentili (valori minimi, 10°, 25°, 50°, 75°, 90° percentile, valori massimi). Sono quindi stati prodotti i grafici di:

- precipitazioni mensili;
- evapotraspirazione potenziale (E_t);
- differenza tra precipitazioni ed evapotraspirazione potenziale ($Prec - Evap$);
- deficit (differenza tra evapotrasp. potenziale e reale);
- surplus (eccedenza sopra il valore massimo immagazzinabile);
- accumulo nel suolo (Storage).

Precipitation

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0%	0.0	0.0	4.1	15.3	28.6	43.2	19.9	43.5	3.7	0.0	1.0	0.0
10%	2.0	5.3	18.4	38.7	60.2	68.7	47.3	58.5	23.0	33.9	21.2	16.1
25%	25.0	11.7	37.7	59.1	76.8	78.4	73.9	69.1	50.8	56.7	48.9	36.2
50%	46.7	32.3	48.9	95.5	111.5	99.4	96.4	95.5	85.1	142.2	104.8	81.2
75%	92.7	82.8	100.3	127.8	140.7	130.7	124.1	132.4	157.7	199.8	169.5	123.0
90%	125.6	120.7	137.5	188.3	170.1	165.2	141.4	158.5	238.2	236.3	229.9	178.9
100%	346.2	252.8	234.6	290.6	207.2	217.1	251.9	205.4	274.8	357.7	370.8	234.6

EtO

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0%	0.0	0.0	0.1	26.1	50.9	84.2	98.3	85.8	52.4	26.0	0.0	0.0
10%	0.0	0.0	10.7	32.5	61.1	92.9	106.7	94.9	58.8	30.5	5.4	0.0
25%	0.0	0.0	15.2	34.9	71.3	95.8	112.1	99.0	65.4	35.0	9.4	0.0
50%	0.0	1.1	19.3	40.4	75.8	102.5	115.7	102.6	69.2	41.3	13.8	0.7
75%	1.7	5.2	24.7	43.2	80.4	107.1	119.4	107.5	75.0	44.1	17.1	5.6
90%	7.1	11.2	26.6	48.9	84.3	110.9	129.5	115.3	78.6	47.5	19.3	8.0
100%	11.1	15.6	30.0	62.9	88.7	129.1	138.8	125.5	86.3	54.7	23.7	11.0

Storage

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0%	95.0	96.5	85	62.6	54.4	39.5	17.0	12.1	23.5	43.4	63.9	96.1
10%	99.9	100.0	100	99.9	81.4	64.4	36.2	31.4	27.7	63.8	95.0	100.0
25%	100.0	100.0	100	100.0	99.8	70.7	47.0	42.8	44.0	82.0	100.0	100.0
50%	100.0	100.0	100	100.0	100.0	92.0	77.2	77.5	100.0	100.0	100.0	100.0
75%	100.0	100.0	100	100.0	100.0	100.0	93.0	99.0	100.0	100.0	100.0	100.0
90%	100.0	100.0	100	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
100%	100.0	100.0	100	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Prec. - Evap.

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0%	-5.1	-0.6	-16.0	-46.1	-60.0	-59.3	-118.9	-65.5	-74.4	-44.1	-13.1	-3.9
10%	0.2	0.8	4.0	10.4	-20.4	-40.5	-77.7	-57.2	-48.0	-14.0	6.3	3.9
25%	9.0	5.3	23.0	26.4	-0.2	-30.1	-43.6	-40.9	-22.8	13.6	43.9	13.9
50%	34.1	24.0	57.6	62.9	50.2	-1.4	-21.6	0.0	15.2	99.3	93.0	39.9
75%	78.1	84.3	101.1	111.6	86.6	26.9	9.8	30.6	91.5	163.6	156.9	92.7
90%	124.9	117.4	182.8	155.3	110.0	63.2	26.6	56.0	168.7	193.6	221.8	168.7
100%	167.1	190.9	279.3	261.9	147.4	122.6	133.5	109.0	215.9	331.8	347.1	232.1

Deficit

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0%	0.0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0
10%	0.0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0
25%	0.0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0
50%	0.0	0	0	0.0	0.0	0.1	2.4	0.1	0.0	0.0	0	0
75%	0.0	0	0	0.0	0.0	4.3	14.2	18.2	8.5	0.0	0	0
90%	0.1	0	0	0.0	1.8	7.7	24.9	27.7	19.6	1.9	0	0
100%	5.1	0	1	8.7	14.4	16.6	79.1	49.3	39.0	8.0	2	0

surplus

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10%	0.3	0.3	4.0	10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	3.9
25%	9.0	5.3	23.0	26.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	43.9	13.9
50%	34.1	24.0	57.6	62.9	50.2	0.0	0.0	0.0	9.5	99.3	93.0	39.9
75%	78.1	84.3	101.1	111.6	86.6	26.9	0.0	17.1	91.5	163.6	156.9	92.7
90%	124.9	117.4	182.8	155.3	110.0	63.2	26.6	56.0	168.7	193.6	221.8	168.7
100%	167.1	190.9	279.3	261.9	147.4	122.6	133.5	109.0	215.9	331.8	347.1	232.1

Tab. 7 – Esempio di tabella dei quantili del bilancio idrico per la stazione FEM21.

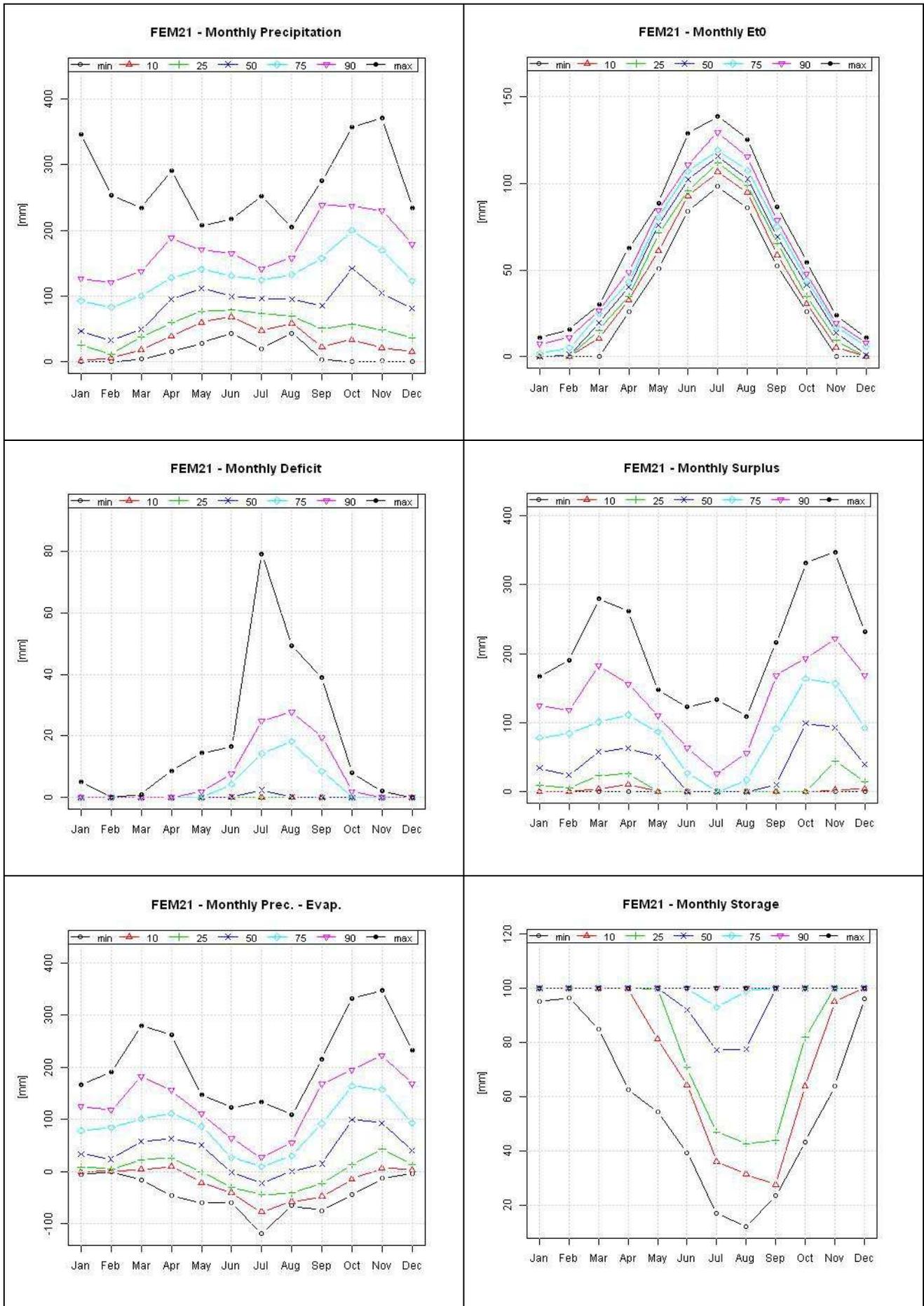


Fig. 3 - Grafici delle grandezze del bilancio idrico secondo Thornthwaite, stazione FEM21

Viene riportato in Fig. 3 un esempio dei grafici tracciati per ogni stazione; la totalità dei grafici è fornita su CD ROM allegato alla presente relazione.

In questo lavoro, un'altra classificazione dell'aridità in base ad un bilancio idrico semplificato è stata eseguita nell'ambito degli indici bioclimatici (vedere § 7.7).

7. Climogrammi

Sono state proposte, dai climatologi che si sono occupati di classificazione climatica, alcune rappresentazioni grafiche del clima di una stazione. Tre di queste sono state scelte per la loro maggiore diffusione. Per ogni stazione sono stati quindi creati i rispettivi climogrammi di Bagnouls – Gaussen, Walter – Lieth e Péguy. La rappresentazione grafica delle condizioni climatiche di bilancio idrico dei suoli, proposta da Thornthwaite, è stata trattata al § 5.

7.1 Climogrammi di Bagnouls – Gaussen

Per ognuna delle stazioni considerate, con serie sufficientemente lunga, sono stati tracciati i diagrammi di Bagnouls – Gaussen (Bagnouls and Gaussen, 1953). Si tratta dei più comuni diagrammi climatici, nei quali per convenzione la scala delle temperature è il doppio di quella delle precipitazioni (Fig. 4). Tale convenzione consente di identificare, laddove ve ne siano, periodi di potenziale aridità, nei mesi in cui la curva di temperatura supera quella delle precipitazioni. Tale caso, per le stazioni trentine, non ricorre mai. I grafici sono stati generati con la funzione "bagn_gauss" del pacchetto ClimClass (Eccel et al., 2014).

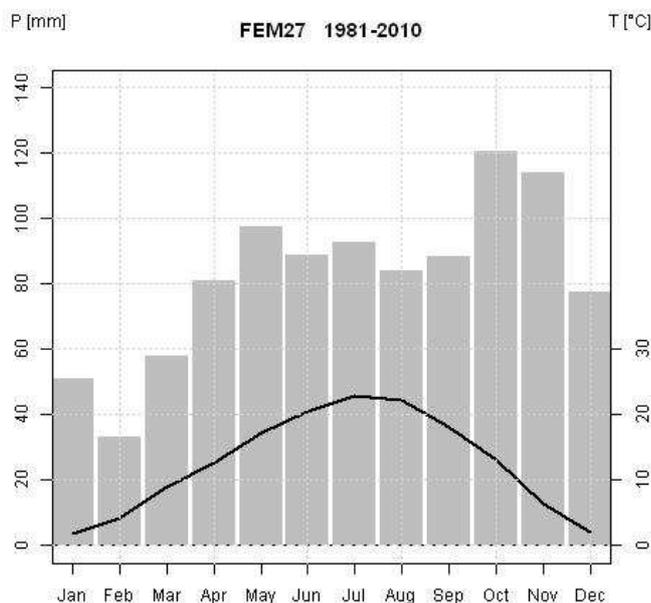


Fig. 4 – Esempio di chimogramma di Bagnouls – Gaussen (stazione FEM27)

7.2 Climogrammi di Walter – Lieth

I climogrammi di Walter – Lieth (Lieth et al., 1957) contengono informazione aggiuntiva rispetto ai più noti climogrammi di Bagnouls – Gaussen, dai quali riprendono precipitazioni e temperature

mensili con la stessa convenzione di scala. Nei chimogrammi di Walter – Lieth sono rappresentati anche i valori medi di temperatura del mese più caldo e più freddo, il valore medio annuo e l’altezza media annua di precipitazione (Fig. 5). I valori mensili eccedenti i 100 mm sono evidenziati con una campitura diversa, così come l’area in cui la curva di temperatura eccede quella della precipitazione (questo caso per le stazioni trentine non ricorre mai). Sull’asse dei mesi c’è un’indicazione, ricavata con un semplice algoritmo, dell’estensione del possibile periodo di gelo. I grafici sono stati generati con la funzione “diagwl” del pacchetto “climatol”, ver. 2.2 (Guijarro, 2013).

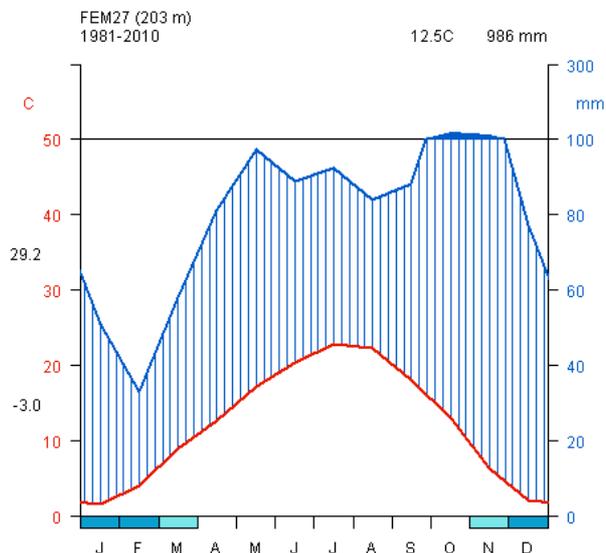


Fig. 5 – Esempio di chimogramma di Walter – Lieth (stazione FEM27)

7.3 Climogrammi di Péguy

I climogrammi di Péguy (Péguy, 1970) rappresentano la climatologia mensile di una stazione nei confronti di una schematica classificazione climatica che viene rappresentata nel grafico in base a temperatura e precipitazione (Fig. 6). I diversi mesi si collocano così dentro il grafico in diverse aree, ognuna identificata con un termine. I grafici sono stati generati con la funzione “peguy” del pacchetto ClimClass (Eccel et. al., 2014).

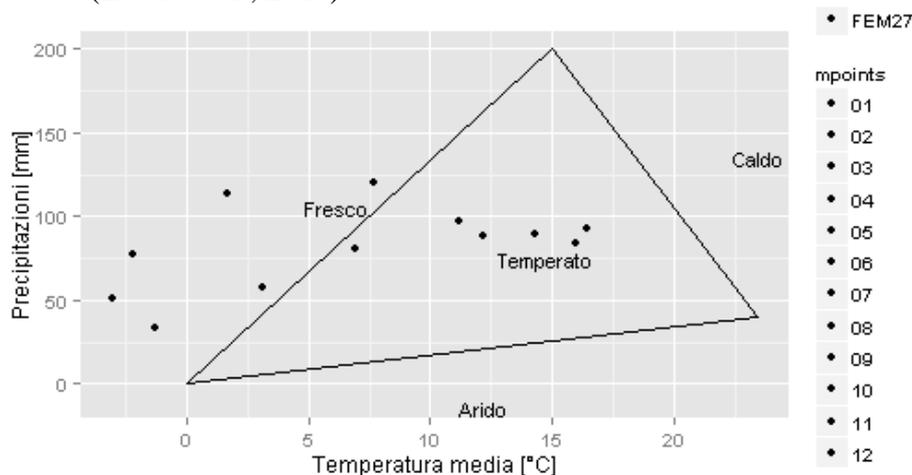


Fig. 6 – Esempio di chimogramma Péguy (stazione FEM27)

8. Classificazione secondo indici agro-climatici

Diversi indici agro-climatici sono stati sviluppati per due principali scopi:

- un confronto tra siti diversi nei medesimi periodi o stagioni (es. per scopi di zonazione);
- un uso di tipo “proxy” dell’indice, per quantificare lo sviluppo biologico (o fenologico) di una coltura in un sito e in una particolare stagione in confronto a condizioni di riferimento (es. per scopi di analisi di stagioni produttive per una particolare coltura).

Gran parte degli indici agro-climatici sono stati sviluppati per la viticoltura, senz’altro il settore che più di ogni altro necessita di attenzione nei confronti di tutto ciò che può influenzare la qualità finale del prodotto, in primis l’andamento meteorologico stagionale. Ma anche le tematiche legate alla zonazione necessitano da sempre di descrivere il clima di una località con indici specifici. Vista la vocazione vitivinicola trentina, sono stati considerati gli indici identificati dall’Organizzazione Internazionale della Vite e del Vino (OIV, 2012) di interesse per il clima trentino. Tali indici sono stati calcolati per 12 siti posti in località di interesse viticolo reale o anche solo potenziale. L’insieme di questi indici è in corso di inclusione nel pacchetto R “ClimClass”, realizzato appositamente per questo studio ed utilizzato per il calcolo degli altri indici climatici. E’ stata impiegata in particolare la funzione “oiv_ind” per gli indici diversi da quello di siccità (§ 7.7). Di seguito il dettaglio sugli indici calcolati.

8.1 Temperatura media del periodo vegetativo (T_{m_veg})

Si tratta del calcolo della temperatura media dell’aria in un arco di tempo che va dall’1 aprile al 31 ottobre.

$$T_{m_veg} = \frac{\overline{T_{min}^{4-10}} + \overline{T_{max}^{4-10}}}{2}$$

con $\overline{T_{min}^{4-10}}$ e $\overline{T_{max}^{4-10}}$ rispettivamente medie delle temperature minime e massime durante il periodo aprile – ottobre.

8.2 Indice di Winkler (WI)

Si tratta della somma dei gradi-giorno (GDD, growing degree – days) dati dalle temperature dell’aria superiori a 10 °C, dal 1° aprile al 31 ottobre. L’algoritmo è descritto in Amerine and Winkler (1944) ed è formulato come segue:

$$GDD = \sum_4^{10} \max \left[\left(\frac{T_{min} + T_{max}}{2} - 10 \right); 0 \right]$$

con T_{min} e T_{max} = temperature giornaliere minime e massime, rispettivamente.

8.3 Gradi – giorno biologicamente efficaci ($BEDD$ - *Biologically Effective Degree Days*)

Questo indice (Gladstones, 2004) considera anche una soglia superiore per l’efficacia termica ai fini dell’avanzamento della maturazione: quando la temperatura media della giornata supera i 19 °C, la cinetica di maturazione dell’uva si considera “a regime”. In questo modo, il valore massimo di un grado - giorno è limitato a 9 °C (cioè la parte eccedente i 10 °C).

$$BEDD = \sum_4^{10} \min \left\{ \max \left[\left(\frac{T_{min} + T_{max}}{2} - 10 \right); 0 \right]; 9 \right\}$$

con T_{min} e T_{max} = temperature giornaliere minime e massime, rispettivamente. Anche in questo caso la somma si estende nella stagione aprile – ottobre.

8.4 Indice Eliotermico di Huglin (HI)

L'indice, creato da Huglin (1978), tiene conto dell'influenza delle temperature durante il pomeriggio (temperature prossime al valore massimo), quando l'attività fotosintetica della vite è massima. Esso introduce anche un fattore di lunghezza dei giorni, dipendente dalla latitudine, per integrare la durata dell'attività fotosintetica potenzialmente più elevata durante il periodo vegetativo della vite alle alte latitudini, che, secondo un indice unicamente basato sulla temperatura, risulterebbero "penalizzate", dal punto di vista della possibilità climatica, rispetto a quanto viene effettivamente riscontrato in vigneto. La sommatoria va estesa dall'1 aprile al 30 settembre.

$$HI = k \sum_4^9 \max \left[\left(\frac{T_{\min} + T_{\max} - 10 + T_{\max} - 10}{2} \right); 0 \right]$$

con T_{\min} e T_{\max} = temperature giornaliere minime e massime, rispettivamente; k: coefficiente di lunghezza dei giorni, dipendente dalla latitudine secondo la seguente tabella:

	40° - 42°	42° - 44°	44° - 46°	46° - 48°	48° - 50°
k	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06

8.5 Indice di Freschezza delle Notti (Cool night index – CI)

L'indice di freschezza delle notti (o "Cool Night Index", Tonietto and Carbonneau, 2004), corrisponde alla semplice media delle temperature minime del mese di settembre, periodo terminale di maturazione dell'uva. Esso quantifica una precisa funzione nella maturazione dell'uva, quella dello sviluppo dei metaboliti secondari (polifenoli ed aromi), ed è associata alla qualità del raccolto.

$$IFN = \overline{T_{\min}^9}$$

dove $\overline{T_{\min}^9}$ è la media delle temperature minime giornaliere del mese di settembre.

8.6 Indice di Fregoni semplificato - IFs

Sullo stesso principio di integrazione del contributo radiativo alle dinamiche di maturazione dell'uva, Fregoni and Pezzutto (2000) hanno proposto un indice che integra sia l'ampiezza termica diurna che la lunghezza del periodo durante il quale la temperatura rimane inferiore a 10° C, per un periodo di 30 giorni prima della maturazione dell'uva. Per omogeneità è stato scelto di porre tale periodo pari al mese di settembre. Proposta sulla base delle temperature orarie, la versione semplificata è applicabile ai dati climatici giornalieri:

$$IFs = \sum_{\text{sett.}} (T_{\max} - T_{\min}) \sum_{\text{sett.}} N_{dT < 10}$$

con T_{\min} e T_{\max} = temperature giornaliere minime e massime, rispettivamente; $N_{dT < 10}$: numero di giorni in cui la temperatura media è inferiore a 10 °C.

8.7 Indice di siccità di Riou (IS)

Si tratta di un adattamento del bilancio idrico proposto originariamente da Riou (1994). Esso è calcolato con un passo temporale mensile, in un periodo di 6 mesi, tra il 1° aprile e il 30 settembre. Il suo valore alla fine del "ciclo" (30 settembre) corrisponde all'indice di siccità:

$$W_m = \min(W_{m-1} + P_m - Tv_m - Es_m; W_0)$$

con m : mese in corso; W : bilancio idrico alla fine del mese; P : cumulo mensile delle precipitazioni del mese; Tv : traspirazione del vigneto nel mese m ; Es : evaporazione proveniente dal suolo durante il mese; W_0 : riserva utile del suolo, fissata dagli autori a 200 mm. Tutte le grandezze sono espresse in mm.

Quando $m = 1$, ovvero durante il primo mese in cui viene effettuato il calcolo del bilancio idrico, si considera che la quantità di acqua disponibile nel terreno nel mese precedente (W_{m-1} o W_0) sia pari a quella della riserva utile W_0 , cioè 200 mm.

W_m secondo Tonietto and Carbonneau (2004) e secondo OIV (2012) può assumere valori negativi, a differenza di quanto indicato da Riou (1994), che ne formulò l'algoritmo. Si è ritenuto importante che l'indice potesse assumere valori negativi, indicativi di una situazione di deficit, ma anche che il bilancio di un mese non dovesse partire da una situazione con contenuto d'acqua "negativo" nel mese precedente, il che non rappresenterebbe una situazione realistica, perciò è stato posto questo vincolo al calcolo del bilancio.

La traspirazione del vigneto è valutata ogni mese in funzione dello stadio di sviluppo della vite e della domanda evaporativa dell'atmosfera:

$$Tv_m = k_m \cdot ETP_m$$

con ETP: evapotraspirazione di riferimento (o potenziale) cumulata nel mese [mm]; k : coefficiente di intercettazione della radiazione solare da parte della chioma della vite, che varia mensilmente in funzione dello stadio di sviluppo vegetativo: $k = 0.1$ per aprile, 0.3 per maggio e 0.5 da giugno a settembre. Per quanto Tonietto and Carbonneau (2004) propongano per il calcolo di ETP il metodo di Penman, quest'ultimo richiede la conoscenza di radiazione solare e velocità del vento, dati non disponibili per questa analisi. Si è preferito perciò il calcolo con il metodo di Hargreaves (Hargreaves and Samani, 1985), implementato nelle funzioni del pacchetto R ClimClass, già citato per il calcolo degli indici climatici.

L'evaporazione dal suolo corrisponde alla frazione di ETP non consumata dalla vigna, cioè $1-k$, per un periodo durante il quale la parte superficiale del suolo è ancora umida. La durata di tale periodo è valutata in funzione delle precipitazioni verificatesi nel mese P . Essa è stimata empiricamente, in giorni, come $1/5$ del cumulo di pioggia nel mese m :

$$Es_m = (1 - k_m) \frac{ETP_m}{Nd_m} \max\left(\frac{P_m}{5}; Nd_m\right)$$

con Nd : numero dei giorni del mese, P : precipitazione mensile [mm].

Nelle elaborazioni di questo studio si è preso in considerazione anche il raggiungimento di condizioni di deficit stagionale massimo in mesi diversi da settembre; infatti, nei climi temperati umidi il mese di settembre non è, in generale, quello con le condizioni di siccità più critiche, così che l'esclusione dei mesi più propriamente estivi comporta una sottostima delle condizioni di siccità. Tuttavia, non corrispondendo questa impostazione allo standard proposto, sono stati valutati entrambi gli approcci (indicati rispettivamente come "IS sett". e "IS min").

Un motivo di ambiguità, non chiarito nel riferimento bibliografico citato, è la valutazione della misura del grado di siccità nella serie annuale che viene prodotta. E' infatti possibile scegliere, nel periodo in osservazione (nel nostro caso: 30 anni) il valore più critico o quello medio, o mediano, o altri ancora. Anche dopo aver esaminato la classificazione bioclimatica basata sulla siccità data da

Tonietto e Carbonneau in base a questo indice, si è scelto di prendere come valore sintetico nella tabella sinottica la mediana dei valori di siccità annuali calcolati sui 30 anni con l’algoritmo sopra esposto. Per confronto sono comunque riportate le tabelle dei percentili significativi, sia secondo l’approccio basato sul bilancio a fine settembre, sia secondo quello che ricerca il minimo dentro l’intera stagione (Tab. 8).

a)

	FEM21 T0211	FEM27 T0038	FEM30 T0054	FEM31 T0083	FEM52 T0010	FEM58 T0090	FEM67 T0001	T0014	T0018	T0129	T0139	T0147
min	72.0	-24.2	-62.4	-58.0	-26.0	-63.0	-30.0	108.0	-26.0	-58.0	7.0	-50.0
10%	118.9	-14.2	-7.2	17.9	-13.1	-24.5	24.6	155.4	141.9	17.7	56.9	16.6
mediana	200.0	72.2	94.2	135.5	129.5	68.1	121.2	200.0	200.0	102.2	178.6	125.9

b)

	FEM21 T0211	FEM27 T0038	FEM30 T0054	FEM31 T0083	FEM52 T0010	FEM58 T0090	FEM67 T0001	T0014	T0018	T0129	T0139	T0147
min	38.0	-42.0	-67.0	-71.0	-26.0	-71.0	-51.0	105.1	-26.0	-58.0	7.0	-50.0
10%	118.7	-21.8	-17.5	-11.3	-23.3	-49.5	-14.9	132.4	102.9	-27.3	29.2	-20.5
mediana	179.0	63.0	69.0	85.9	78.2	32.5	75.2	168.3	170.5	66.5	128.2	73.5

Tab. 8 – Indice di siccità di Riou. a) bilancio al mese di settembre. b) bilancio minimo durante tutta la stagione (aprile – settembre)

Per il calcolo di questo indice è stata impiegata la funzione “RDI”, in corso di integrazione nel già citato pacchetto ClimClass.

8.8 Indici di temperature estreme significative

Temperatura minima durante il periodo di riposo vegetativo della vite – Tn_rip

La temperatura minima assoluta invernale è rilevante in quanto può determinare la moria delle viti o creare comunque danni non del tutto recuperabili entro la stagione successiva. La vite, come è noto, resiste comunemente a temperature invernali basse, stimabili tra i -15 °C e i -25 °C. Nelle condizioni delle località viticole trentine, la soglia più alta può essere oltrepassata in inverni particolarmente rigidi.

Temperatura minima durante il periodo vegetativo – Tn_veg

Il danno da gelo sugli organi vegetativi dipende dallo stadio di sviluppo fenologico. La stagione vegetativa si fissa convenzionalmente, per questo calcolo, da aprile ad ottobre. I danni appaiono generalmente sotto i -3 °C. Anche se non frequenti nelle zone viticole trentine, queste situazioni si possono talvolta raggiungere. Per tenere conto delle diverse condizioni di misura in vigneto, rispetto alla stazione meteorologica, si considera temperatura di congelamento durante il periodo vegetativo quella misurata alla stazione tra 0 °C e -2 °C.

Temperatura massima durante la maturazione dell’uva – Tx_veg

La vite tollera generalmente elevate temperature estive, come testimonia la presenza di vigneti in zone pienamente mediterranee. Tuttavia, valori termici elevati possono costituire un problema, specie per alcuni vitigni, peggiorando gli aspetti qualitativi dell’uva, come la formazione degli aromi e il tenore in antociani (Spayd et al., 2002; Kliewer, 1977). Generalmente sopra i 35 °C le condizioni di maturazione si allontanano da quelle desiderate.

Per tutti e tre questi indici, che considerano condizioni termiche limitanti, quindi estreme, si ripropone la questione affrontata poco più sopra (in relazione all’indice di siccità, § 7.7): la scelta della misura statistica dell’indice calcolato su una serie pluriennale. E’ infatti possibile scegliere, nel periodo in osservazione (nel nostro caso: 30 anni) il valore più critico o quello medio, o mediano, o altri ancora. Nemmeno in questo caso gli autori degli indici si pronunciano. Si è scelto di prendere come valore sintetico nella tabella sinottica (vedere più avanti) la mediana dei valori estremi calcolati sui 30 anni, riportando comunque le tabelle complete (Tab. 9).

a)

	FEM21 T0211	FEM27 T0038	FEM30 T0054	FEM31 T0083	FEM52 T0010	FEM58 T0090	FEM67 T0001	T0014	T0018	T0129	T0139	T0147
min assol.	-18.0	-15.3	-12.1	-16.8	-17.7	-19.2	-17.0	-18.0	-18.0	-15.0	-16.1	-11.9
10%	-14.2	-11.0	-8.4	-13.1	-14.9	-12.3	-13.2	-15.3	-14.5	-11.1	-14.0	-7.9
mediana	-10.7	-9.2	-6.5	-10.4	-11.3	-10.1	-11.1	-11.0	-11.4	-9.0	-10.0	-5.9

b)

	FEM21 T0211	FEM27 T0038	FEM30 T0054	FEM31 T0083	FEM52 T0010	FEM58 T0090	FEM67 T0001	T0014	T0018	T0129	T0139	T0147
min assol.	-9.0	-3.8	-1.2	-6.7	-6.1	-5.4	-8.8	-8.0	-8.7	-6.0	-8.0	-2.0
10%	-6.1	-2.0	0.1	-4.2	-3.2	-2.7	-3.1	-6.1	-6.1	-2.0	-4.9	0.7
mediana	-3.0	0.2	2.2	-1.9	-1.8	-0.2	-2.0	-2.3	-3.0	1.0	-1.9	2.7

c)

	FEM21 T0211	FEM27 T0038	FEM30 T0054	FEM31 T0083	FEM52 T0010	FEM58 T0090	FEM67 T0001	T0014	T0018	T0129	T0139	T0147
mediana	28.1	34.6	34.8	31.4	35.3	35.3	34.0	29.6	30.5	35.0	33.0	35.4
90%	30.1	36.6	36.1	33.0	37.4	38.8	36.3	32.6	33.5	37.5	35.7	37.3
max assol.	32.0	38.8	37.4	36.0	40.0	40.0	37.1	34.0	34.0	39.0	37.9	38.2

Tab. 9 – Indici di temperatura estrema OIV. a) temperatura minima durante il riposo vegetativo. b) temperatura minima durante la stagione vegetativa. c) temperatura massima durante la stagione vegetativa.

8.9 Indice idrotermico di Branas – IB

Si tratta di un indice (non compreso nell'elenco di OIV citato) che tiene in considerazione sia le temperature che le precipitazioni (Eynard and Dal Masso, 1990). A differenza degli altri indici proposti, orientati all'attitudine alla coltivazione della vite dal punto di vista della fisiologia della pianta e della maturazione, l'indice di Branas può fornire un'indicazione potenziale sui periodi, sulle annate e sulle zone geografiche a maggiore rischio di infezioni fungine.

a)

ID	Località	Quota	Tm_veg	WI	BEDD	HI	CI	IFs
FEM21 / T0211	Ronzo-Chienis	955	13.2	854	815	1247	8.9	1153.8
FEM27 / T0038	San Michele	205	18.1	1755	1423	2289	12.2	11.7
FEM30 / T0154	Ala	171	18.2	1764	1440	2248	13.1	10.8
FEM31 / T0083	Cles	652	15.3	1217	1101	1740	10.0	254.0
FEM52 / T0010	Levico Terme	442	16.9	1524	1281	2133	10.5	145.3
FEM58 / T0090	Mezzolombardo	204	18.1	1762	1410	2339	11.7	12.4
FEM67 / T0001	Pergine Valsugana	457	16.6	1456	1250	2051	10.3	105.9
T0014	Telve (Pontarso)	925	13.2	845	810	1334	8.3	716.8
T0018	Pieve Tesino (Enel)	785	13.9	960	907	1461	8.6	714.5
T0129	Trento (Laste)	312	18.3	1793	1416	2295	12.8	36.3
T0139	Sant'Orsola Terme	930	15.3	1233	1103	1782	9.6	416.8
T0147	Rovereto	203	19.1	1959	1488	2416	14.2	8.5

b)

ID	Località	Quota	IS sett.	IS min	Tn_rip	Tn_veg	Tx_veg	IB
FEM21 / T0211	Ronzo-Chienis	955	200.0	179.0	-10.7	-3.0	28.1	7379
FEM27 / T0038	San Michele	205	72.2	63.0	-9.2	0.2	34.6	8522
FEM30 / T0154	Ala	171	94.2	69.0	-6.5	2.2	34.8	8279
FEM31 / T0083	Cles	652	135.5	85.9	-10.4	-1.9	31.4	7094
FEM52 / T0010	Levico Terme	442	129.5	78.2	-11.3	-1.8	35.3	8603
FEM58 / T0090	Mezzolombardo	204	68.1	32.5	-10.1	-0.2	35.3	8556
FEM67 / T0001	Pergine Valsugana	457	121.2	75.2	-11.1	-2.0	34.0	8338
T0014	Telve (Pontarso)	925	200.0	168.3	-11.0	-2.3	29.6	8223
T0018	Pieve Tesino (Enel)	785	200.0	170.5	-11.4	-3.0	30.5	9376
T0129	Trento (Laste)	312	102.2	66.5	-9.0	1.0	35.0	8509
T0139	Sant'Orsola Terme	930	178.6	128.2	-10.0	-1.9	33.0	8151
T0147	Rovereto	203	125.9	73.5	-5.9	2.7	35.4	8945

Tab. 10 - Valori degli indici bioclimatici per la viticoltura. a) indici di soddisfacimento fisiologico per la maturazione; b) indici orientati al controllo delle avversità (meteorologiche e fitopatologiche). Vedere testo per il significato di acronimi e indici

$$IB = \sum P^{4-8} \cdot T_m^{4-8}$$

dove P^{4-8} e T_m^{4-8} sono rispettivamente le precipitazioni e la temperatura media nel periodo aprile – agosto.

Tutti gli indici calcolati sono stati raccolti, per le stazioni scelte, in una tabella sinottica (Tab. 10).

8.10 Classificazione sintetica in base a tre indici bioclimatici

Nel già citato lavoro di Tonietto and Carbonneau (2004) viene proposto un sistema di classificazione dei climi delle aree viticole mondiali in base a tre soli indici bioclimatici: l'indice elio termico di Huglin (HI), l'indice di freschezza delle notti (CI) e l'indice di siccità secondo Riou (DI). E' stata applicata quindi questa classificazione alle 12 serie selezionate, giungendo all'attribuzione di una classe in base alle singole categorie attribuite per ognuno di questi tre indici, secondo la Tab. 11.

Index	Class of viticultural climate	Acronym	Class interval
Heliothermal index, HI	Very warm	HI + 3	>3000
	Warm	HI + 2	>2400 ≤ 3000
	Temperate warm	HI + 1	>2100 ≤ 2400
	Temperate	HI - 1	>1800 ≤ 2100
	Cool	HI - 2	>1500 ≤ 1800
	Very cool	HI - 3	≤1500
Night cold index, CI (°C)	Very cool nights	CI + 2	≤12
	Cool nights	CI + 1	>12 ≤ 14
	Temperate nights	CI - 1	>14 ≤ 18
	Warm nights	CI - 2	>18
Dryness index, DI (mm)	Very dry	DI + 2	≤-100
	Moderately dry	DI + 1	≤50 > -100
	Sub-humid	DI - 1	≤150 > 50
	Humid	DI - 2	>150

Tab. 11 - classi per il clima viticolo in base agli indici eliotermico (HI, Huglin), di freschezza delle notti (CI, Cold night Index) e di siccità secondo Riou (DI). Da Tonietto and Carbonneau (2004).

Il risultato di questa classificazione è riportato in Tab. 12, dove i colori delle celle evidenziano il grado di termicità o xericità dei climi viticoli.

ID	Località	Indice eliotermico di Huglin (HI)	Indice Fresch. Notti (CI)	Indice di siccità di Riou (DI)
FEM21 / T0211	Ronzo-Chienis	HI-3	CI+2	DI-2
FEM27 / T0038	San Michele	HI+1	CI+1	DI-1
FEM30 / T0154	Ala	HI+1	CI+1	DI-1
FEM31 / T0083	Cles	HI-2	CI+2	DI-1
FEM52 / T0010	Levico Terme	HI+1	CI+2	DI-1
FEM58 / T0090	Mezzolombardo	HI+1	CI+2	DI-1
FEM67 / T0001	Pergine Valsugana	HI-1	CI+2	DI-1
T0014	Telve (Pontarso)	HI-3	CI+2	DI-2
T0018	Pieve Tesino (Enel)	HI-3	CI+2	DI-2
T0129	Trento (Laste)	HI+1	CI+1	DI-1
T0139	Sant'Orsola Terme	HI-2	CI+2	DI-2
T0147	Rovereto	HI+2	CI-1	DI-1

Tab. 12 - Classificazione sintetica dei climi viticoli secondo Tonietto e Carbonneau. Vedere Tab. 11 per i riferimenti.

I climi più freschi (“freddi”, dal punto di vista del fabbisogno termico per la viticoltura), nella classe “HI-3”, corrispondono, in realtà, a zone attualmente non vocate alla viticoltura. Le medesime località si trovano nella classe dell’indice di siccità “DI-2”, quello più umido, dove condizioni di siccità sono irrilevanti e anzi sono più frequenti i casi in cui l’umidità costituisce un limite per la viticoltura. Anche i climi della classe “HI-2” si riferiscono, tra le stazioni prescelte, a zone attualmente non viticole. Le aree meno fresche ricadono per lo più nei tipi “H-1” (Pergine) e soprattutto “H+1”. In queste ultime aree la maturazione teorica dell’uva può avvenire per tutte le varietà da vino. Un’unica località (Rovereto) cade in zona “H+2”, definita “calda”, dove la disponibilità termica non costituisce alcun limite alla maturazione.

Proprio Rovereto, tra le località scelte, è l’unica ad essere posta nella categoria “CI-1” (“notti temperate”), una transizione tra i tipi con notti calde e con notti fresche. In queste zone la maturazione delle varietà precoci avverrà con valori notturni ancora estivi. Tutte le altre località ricadono invece nelle categorie “CI+1” (“notti fresche”), classe per lo più rappresentativa del fondovalle atesino, e “CI+2” (“notti molto fresche”), per lo più tipica delle zone a quote collinari e di montagna, fuori dall’attuale areale viticolo. Infine, le condizioni di siccità nelle zone viticole (di quelle attualmente fuori dall’areale si è detto sopra) sono sempre di tipo “DI-1”, indicative di un clima “sub-umido”, quindi senza ricorrenti condizioni di stress idrico.

9. Effetti del cambiamento climatico sulla classificazione climatica

E’ interessante osservare in quale misura il cambiamento climatico abbia inciso sulla classificazione climatica, con gli indici fin qui considerati. Sono pertanto state calcolate le medesime classificazioni per il trentennio 1961 – 1990, confrontando i risultati con le elaborazioni per il periodo 1981 – 2010. Tra questi due periodi esiste ancora una sovrapposizione di 10 anni (1981 – 1990); si può pertanto pensare ai due periodi come un intorno di 15 anni rispetto ad un biennio baricentrico rispettivamente pari a 1975-’76 e a 1995-’96. Questo periodo copre comunque quello in cui l’area alpina, ed in particolare il Trentino, ha visto il maggior incremento termico (si veda al proposito Eccel et al., 2012, e anche il rapporto tecnico del progetto CLITRE.100) e quindi presumibilmente anche il maggior numero di “transizioni” nella classificazione climatica attribuita alle singole classi. Evitando di riportare per intero tutte le tabelle, si evidenziano solamente le serie per cui si può misurare un cambiamento formale di classe o sottoclasse (non si sono potute confrontare tutte le serie causa incompleta disponibilità di alcune serie per il periodo 1961 – 1990). La Tab. 13 sintetizza le “transizioni”, riportando solo le serie con una variazione della classificazione e solo gli indici per cui tale variazione è avvenuta.

Alcune “transizioni” riscontrate sono di fatto formali: per esempio, nel caso della continentalità igrometrica di Gams (indice α), i due cambiamenti - peraltro di segno opposto - risultano minimi e danno luogo al cambiamento di classe solo in quanto avvengono su serie con l’indice a ridosso del limite tra classi. La classificazione secondo Köeppen – Geiger si manifesta nella sottoclasse del clima di tipo C (mesotermici) in base alla temperatura media del mese più caldo, che per due stazioni della Rotaliana passa da “b” ad “a”, avendo la temperatura di luglio superato la soglia dei 22 °C nel periodo 1981 – 2010, a differenza del trentennio 1961 - 1990.

Le modifiche più sostanziali si possono osservare nel caso degli indici di aridità / umidità, come si può osservare dalla prevalenza di celle color arancio nella Tab. 13. In particolare, nella classificazione di Thornthwaite, 9 stazioni hanno raggiunto una diversa sottoclasse del clima “umido” (vedere App. B), con due verso una sottoclasse più umida e ben sette verso una sottoclasse meno umida. Questa tendenza è confermata sporadicamente da altri indici (Lang, Rivas – Martinez), mentre per l’indice di Emberger e quello di UNEP non si osservano transizioni di classe di umidità e per De Martonne si registra una transizione verso una sottoclasse più umida.

	Classificazione climatica generale		Continentalità / oceanicità				Aridità / umidità					
	Köppen - Geiger		α		la		Im		R		Io	
	'61 - '90	'81 - '10	'61 - '90	'81 - '10	'61 - '90	'81 - '10	'61 - '90	'81 - '10	'61 - '90	'81 - '10	'61 - '90	'81 - '10
FEM27 / T0038	Cfb	Cfa	13.1	11.6	40.2	43.8	21.1	29.7	74.6	78.9	6.2	6.6
FEM58 / T0090	Cfb	Cfa	11.8	11.5	45.4	44.9	31.7	28.4	84.6	81.2	7.1	6.8
FEM67 / T0001	Cfb	Cfb	24.1	23.7	50.0	49.4	41.3	37.2	98.1	94.1	7.6	7.8
FEM87 / T0102	Cfb	Cfb	47.4	45.4	50.7	52.3	35.9	40.5	113.2	111.0	8.2	8.9
T0014	Cfb	Cfb	39.1	39.3	64.1	61.3	90.1	79.9	146.8	134.1	10.9	10.7
T0018	Cfb	Cfb	32.7	31.0	66.5	68.4	100.8	98.2	145.7	143.5	11.5	12.0
T0139	Cfb	Cfb	45.3	43.3	48.0	48.3	45.4	38.8	100.7	94.8	8.0	7.9
T0147	Cfa	Cfa	11.8	12.0	43.3	41.0	42.2	34.4	77.7	71.7	6.5	6.0
T0210	Cfb	Cfb	42.2	42.9	68.7	64.6	108.3	86.9	154.6	139.1	12.9	11.6
T0366	Cfb	Cfb	61.7	59.5	51.3	56.1	56.6	65.6	128.1	140.0	9.4	9.9
T0367	Cfb	Cfb	49.4	50.5	45.6	42.5	23.6	12.1	102.4	92.1	7.7	7.0
T0368 / T0144	Dfb	Dfb	50.8	48.3	80.9	86.3	133.4	147.3	241.5	247.1	15.1	16.3

Tab. 13 – Transizioni di classe climatica per 1981 – 2010 in confronto a 1961 – 1990 (solo indici e stazioni con variazioni). Celle evidenziate in arancio: spostamento verso classi (o sottoclassi) climatiche più calde / più continentali secondo Gams / più aride. Celle evidenziate in celeste: spostamento verso classi (o sottoclassi) climatiche più oceaniche secondo Gams / più umide. In grigio valori che non determinano un passaggio di classe o sottoclasse tra i due periodi di riferimento.

ID	Località	Indice eliotermico di Huglin (HI)		Indice Fresch. Notti (CI)		Indice di siccità di Riou (DI)	
		'61 - '90	'81 - '10	'61 - '90	'81 - '10	'61 - '90	'81 - '10
FEM21 / T0211	Ronzo-Chienis	HI-3	HI-3	CI+2	CI+2	DI-2	DI-2
FEM27 / T0038	San Michele	HI-1	HI+1	CI+1	CI+1	DI+1	DI-1
FEM30 / T0154	Ala	HI+1	HI+1	CI+1	CI+1	DI-1	DI-1
FEM31 / T0083	Cles	HI-2	HI-2	CI+2	CI+2	DI-1	DI-1
FEM52 / T0010	Levico Terme	HI-1	HI+1	CI+2	CI+2	DI-2	DI-1
FEM58 / T0090	Mezzolombardo	HI+1	HI+1	CI+2	CI+2	DI-1	DI-1
FEM67 / T0001	Pergine Valsugana	HI-1	HI-1	CI+2	CI+2	DI-1	DI-1
T0014	Telve (Pontarso)	HI-3	HI-3	CI+2	CI+2	DI-2	DI-2
T0018	Pieve Tesino (Enel)	HI-3	HI-3	CI+2	CI+2	DI-2	DI-2
T0129	Trento (Laste)	HI+1	HI+1	CI+1	CI+1	DI-1	DI-1
T0139	Sant'Orsola Terme	HI-3	HI-2	CI+2	CI+2	DI-2	DI-2
T0147	Rovereto	HI+1	HI+2	CI+1	CI-1	DI-1	DI-1

Tab. 14 - Transizioni di classe dei tipi climatici viticoli secondo Tonietto and Carbonneau (2004): 1981 – 2010 in confronto a 1961 – 1990. Celle evidenziate in arancio: spostamento verso classi bioclimatiche più calde o meno umide. Celle evidenziate in azzurro: spostamento verso classi bioclimatiche più umide. In grigio valori che non hanno determinato un passaggio di classe tra i due periodi di riferimento.

La stessa operazione è stata compiuta per la classificazione bioclimatica sintetica ai fini viticoli proposta da Tonietto e Carbonneau (vedere § 7.10). Nella Tab. 14 sono evidenziati i casi di transizione da una classe all'altra. Con una sola eccezione, tutti i passaggi di classe corrispondono ad una migrazione verso climi più caldi e meno umidi, in tutti i casi nella classe più prossima a quella di partenza. Sono stati riscontrati, tra le 12 stazioni esaminate, 4 passaggi in questo senso per l'indice elietermico di Huglin (HI), un passaggio per l'indice di freschezza delle notti (CI) e 1 passaggio per l'indice di siccità (DI), compensato da un passaggio di segno contrario (San Michele), verso una classe più umida, in concordanza con i risultati visibili in Tab. 13 per la stessa stazione.

10. Analisi delle serie sub-giornaliere di precipitazione

Prima di eseguire i calcoli, le serie sono state caricate in unico file di formato "NetCDF" (vedere `ncdf4df-master.zip`, disponibile sul CD ROM allegato). Il "NETwork Common Data Form" (NetCDF) è un insieme di interfacce per l'accesso a dati meteo vettoriali e una raccolta ad accesso libero di librerie di estrazione e gestione dati per C, Fortran, C++, Java, e altri linguaggi, che trattano un formato indipendente dalla macchina. Insieme, interfacce, librerie e formato supportano la creazione, accesso e condivisione di dati scientifici.

Le convenzioni "Climate and Forecast" (CF) sono convenzioni per metadati di scienze geofisiche, mirate alla promozione di elaborazione e condivisione di file creati con il NetCDF Application Programmer Interface (API). Le convenzioni definiscono metadati che sono inclusi nel file stesso, rendendolo auto-descrittivo; essi definiscono cosa il dato rappresenti, per ciascuna variabile, e le proprietà spaziali e temporali del dato. Ciò rende possibile da parte degli utenti il confronto di dati da fonti diverse e consente la costruzione di applicativi potenti per estrazione, ridefinizione della risoluzione spaziale ed esplicitazione dei dati.

Per questa analisi sono state valutate le serie disponibili in un trentennio leggermente sfasato rispetto al periodo 1981 – 2010, dal 1983 al 2012, per massimizzare il numero di serie disponibili (vedere anagrafica in Tab. 1). I valori di precipitazione sono stati aggregati annualmente e per mese secondo le seguenti funzioni:

- media;
- mediana (50° percentile);
- 90° percentile;
- 95° percentile;
- 99° percentile.

Ogni aggregazione è stata eseguita sommando i valori di precipitazione, separatamente per i 12 mesi, su periodi consecutivi di 1, 3, 6, 12 e 24 ore. I valori di precipitazione sono sommati sulle ore anche se intervallati da ore senza precipitazione, ma escludendo dalla statistica i periodi con assenza completa di precipitazione. Con queste aggregazioni, per sintetizzare la lettura dei risultati, sono state redatte tabelle che riportano la distribuzione in quartili calcolati sugli anni. Come esempio, la Tab. 15 riporta per ogni stazione tre righe (25%, 50%, 75%). La prima riporta, mese per mese, il 25° percentile sugli anni del 90° percentile delle precipitazioni misurate in 12 ore consecutive in ogni anno del periodo; analogamente la seconda e la terza per il 50° e 75° percentile, rispettivamente.

I valori sono rappresentati graficamente con "boxplot" mensili, uno per ogni aggregazione in termini di ore consecutive e di misura (media, mediana, 90°, 95° e 99° percentile). Nei grafici (esempio in Fig. 7 per tempi di aggregazione di 1 ora e 12 ore), il segmento scuro che divide ogni rettangolo rappresenta la mediana, gli estremi del rettangolo il 25° e 75° percentile. Avendo indicato con IQR – Inter-Quartile Range, la differenza tra il 75° e il 25° percentile (terzo e primo quartile), i segmenti verticali sono dati dai valori più esterni tra i massimi nella serie e il terzo quartile più 1.5 IQR, e, rispettivamente, i minimi nella serie e il primo quartile meno 1.5 IQR; i punti isolati rappresentano i valori eccedenti questo intervallo.

Stazione	Percent.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
FEM27	25%	9.1	4.3	7.0	9.4	11.6	10.1	12.8	12.0	11.2	12.8	8.6	9.0
	50%	10.3	10.1	12.1	13.5	15.4	13.6	15.5	16.0	19.0	18.9	13.5	12.7
	75%	17.0	15.9	16.4	16.8	20.0	19.3	20.0	23.1	24.4	25.2	25.3	19.9
FEM30	25%	9.4	4.6	7.6	7.5	8.3	7.8	11.4	12.0	10.7	10.4	8.9	7.8
	50%	11.3	7.8	11.1	10.1	10.7	13.3	15.7	15.3	16.5	16.2	15.0	13.1
	75%	17.4	10.4	14.6	17.5	16.3	18.3	20.1	23.0	24.5	21.7	23.6	17.4
FEM31	25%	4.7	3.3	7.0	10.6	8.7	9.0	9.8	10.2	10.8	7.5	9.0	5.4
	50%	11.4	8.8	11.3	12.9	11.4	13.3	12.5	13.5	15.3	18.5	17.1	9.6
	75%	15.2	16.6	16.6	17.5	18.8	16.7	16.3	16.4	24.0	25.9	29.9	23.5
FEM52	25%	5.1	3.2	6.1	7.7	7.5	10.6	11.5	15.3	14.6	10.5	8.0	5.8
	50%	7.9	8.0	10.6	10.8	11.0	12.6	14.6	16.8	16.0	15.8	14.4	8.5
	75%	11.4	11.0	12.9	13.3	12.8	16.8	19.0	20.0	20.3	20.2	17.6	11.9
T0010	25%	8.9	4.6	7.0	8.4	7.5	9.2	12.4	13.7	9.3	13.7	9.4	7.4
	50%	13.7	8.1	11.3	11.4	14.2	13.0	15.3	15.9	15.8	19.7	13.2	8.8
	75%	18.2	13.4	14.4	17.6	19.1	17.2	17.3	18.7	21.9	24.0	20.0	14.1
T0014	25%	7.0	6.5	6.8	8.7	8.6	13.6	11.8	14.0	15.3	12.5	12.8	8.9
	50%	12.8	10.6	13.1	13.6	14.3	16.4	15.8	20.3	18.6	19.7	20.7	13.1
	75%	17.8	16.9	18.7	17.7	18.3	20.7	17.8	23.5	27.6	29.4	29.6	21.1
T0018	25%	9.1	6.4	7.2	10.2	9.1	12.5	11.8	13.4	10.9	13.4	11.9	10.2
	50%	14.4	10.9	15.2	13.2	14.2	16.6	20.4	17.6	17.4	25.0	20.1	13.0
	75%	16.5	17.0	23.2	16.2	23.6	20.4	23.2	28.9	23.6	32.6	34.4	18.0
T0032	25%	5.6	4.2	5.7	7.2	7.6	8.2	8.6	8.8	7.2	9.2	8.6	5.7
	50%	9.7	8.2	9.5	10.2	8.4	10.4	12.4	11.2	12.4	11.0	11.4	9.2
	75%	13.2	11.3	12.2	13.9	10.8	13.3	14.9	16.0	15.7	14.8	24.5	14.8
T0064	25%	7.9	3.4	7.2	7.2	8.4	11.0	12.7	10.0	10.4	8.4	6.6	7.6
	50%	9.5	8.4	12.1	12.7	9.8	14.1	15.0	16.3	17.0	17.0	16.4	10.8
	75%	12.2	12.8	15.8	17.4	12.2	16.8	17.8	19.6	24.3	22.3	27.3	21.3
T0090	25%	3.0	2.8	6.3	5.7	8.4	10.7	12.7	13.4	12.2	11.6	5.0	4.0
	50%	7.3	5.0	8.3	9.1	11.8	15.2	14.8	14.8	19.4	20.4	10.4	7.1
	75%	12.3	5.9	13.1	11.7	14.8	16.4	16.6	18.3	26.1	27.2	23.6	13.1
T0092	25%	2.6	1.0	2.8	6.0	10.2	12.5	12.8	12.4	14.3	17.4	9.8	3.4
	50%	4.8	1.8	4.8	7.8	11.9	16.6	17.0	17.6	19.6	20.3	14.4	6.2
	75%	6.6	8.6	10.9	11.1	14.4	18.9	19.2	20.7	24.8	25.1	19.7	12.6
T0099	25%	4.6	5.0	3.8	7.9	8.3	9.9	13.3	11.0	11.2	11.7	7.8	5.8
	50%	5.8	5.4	6.8	10.7	11.4	14.9	15.8	11.8	14.3	14.9	11.1	7.4
	75%	10.6	8.9	11.3	14.7	13.7	16.3	21.1	15.8	19.6	20.8	21.9	12.1
T0102	25%	3.8	2.8	7.2	6.3	9.6	10.4	12.4	12.3	11.4	14.7	8.5	3.6
	50%	6.4	8.0	10.7	8.8	11.8	13.1	13.8	14.5	17.2	23.0	17.2	10.0
	75%	10.2	10.2	15.7	13.0	14.1	17.6	17.0	18.5	23.3	30.5	30.9	18.1
T0103	25%	5.2	8.8	8.5	7.2	10.4	9.7	11.5	12.4	12.2	17.0	10.6	9.1
	50%	14.6	11.3	12.2	16.8	18.0	15.3	13.6	16.2	17.0	24.2	23.0	12.4
	75%	22.2	14.9	19.6	19.4	21.6	21.0	18.8	24.8	22.2	27.4	28.1	14.1
T0129	25%	4.8	4.0	5.8	6.3	9.8	12.8	12.1	13.1	9.4	12.2	8.0	3.8
	50%	6.8	7.0	8.8	11.6	14.0	15.3	16.2	16.5	15.2	16.7	14.7	6.6
	75%	10.2	10.8	13.9	13.9	17.9	19.4	21.9	20.7	22.6	26.5	20.6	10.6
T0139	25%	9.5	5.4	4.2	7.8	9.6	11.6	13.0	11.3	12.9	14.6	11.0	7.9
	50%	11.9	10.2	10.7	9.6	11.8	15.1	17.2	14.2	17.8	17.9	17.2	11.2
	75%	16.3	12.8	16.0	15.5	13.9	17.1	20.4	19.7	21.7	22.5	20.3	15.8
T0147	25%	10.8	7.3	6.7	12.1	12.0	12.2	11.9	12.4	14.4	18.6	23.7	9.2
	50%	13.6	12.6	21.2	14.3	14.2	13.6	13.7	17.1	21.6	25.5	36.8	18.0
	75%	22.2	19.8	27.3	20.3	21.2	15.6	16.4	21.6	29.8	43.1	44.6	24.6
T0149	25%	6.1	4.9	6.7	7.9	8.0	10.2	13.6	11.4	11.2	14.5	9.8	5.1
	50%	10.7	7.6	11.2	11.6	10.2	13.4	15.8	16.2	16.2	21.6	17.5	10.8
	75%	17.3	13.3	15.6	14.8	15.4	15.8	19.6	22.6	22.6	25.7	25.4	17.6
T0189	25%	8.5	4.0	7.4	7.4	8.6	10.5	14.8	12.8	13.2	13.8	12.6	8.3
	50%	14.9	8.8	14.8	11.2	13.9	15.9	16.0	17.4	21.4	20.1	18.7	11.5
	75%	18.7	12.8	15.4	12.8	17.6	21.3	20.8	21.9	27.9	27.1	24.6	17.1
T0193	25%	10.9	5.8	6.5	9.0	7.9	13.4	14.1	11.5	11.7	16.5	10.4	7.8
	50%	14.4	9.5	12.8	12.6	11.8	15.8	17.2	15.7	17.0	21.1	20.1	11.1
	75%	17.9	12.8	19.7	13.8	14.8	29.2	19.8	18.6	26.0	25.3	28.0	20.3
T0204	25%	7.1	6.3	6.2	7.7	12.2	9.4	10.4	11.0	12.2	11.0	13.5	9.5
	50%	10.5	11.8	12.2	11.0	14.2	12.4	12.6	16.6	20.2	18.3	16.0	13.2
	75%	16.4	13.8	21.6	13.6	22.9	19.7	19.9	23.5	25.8	22.7	32.3	14.1
T0210	25%	5.2	3.6	6.5	6.0	10.6	10.2	12.6	12.0	11.2	14.3	13.0	6.1
	50%	9.0	7.5	10.6	9.4	12.4	12.1	16.0	14.6	19.2	19.6	21.6	9.6
	75%	10.5	10.1	13.2	11.1	15.1	17.2	19.3	16.8	24.8	23.1	27.6	12.5

Tab. 15 – 90° percentile delle altezze di pioggia (mm) misurate in 12 ore consecutive. I percentili si riferiscono agli anni del periodo di analisi (1983 – 2012).

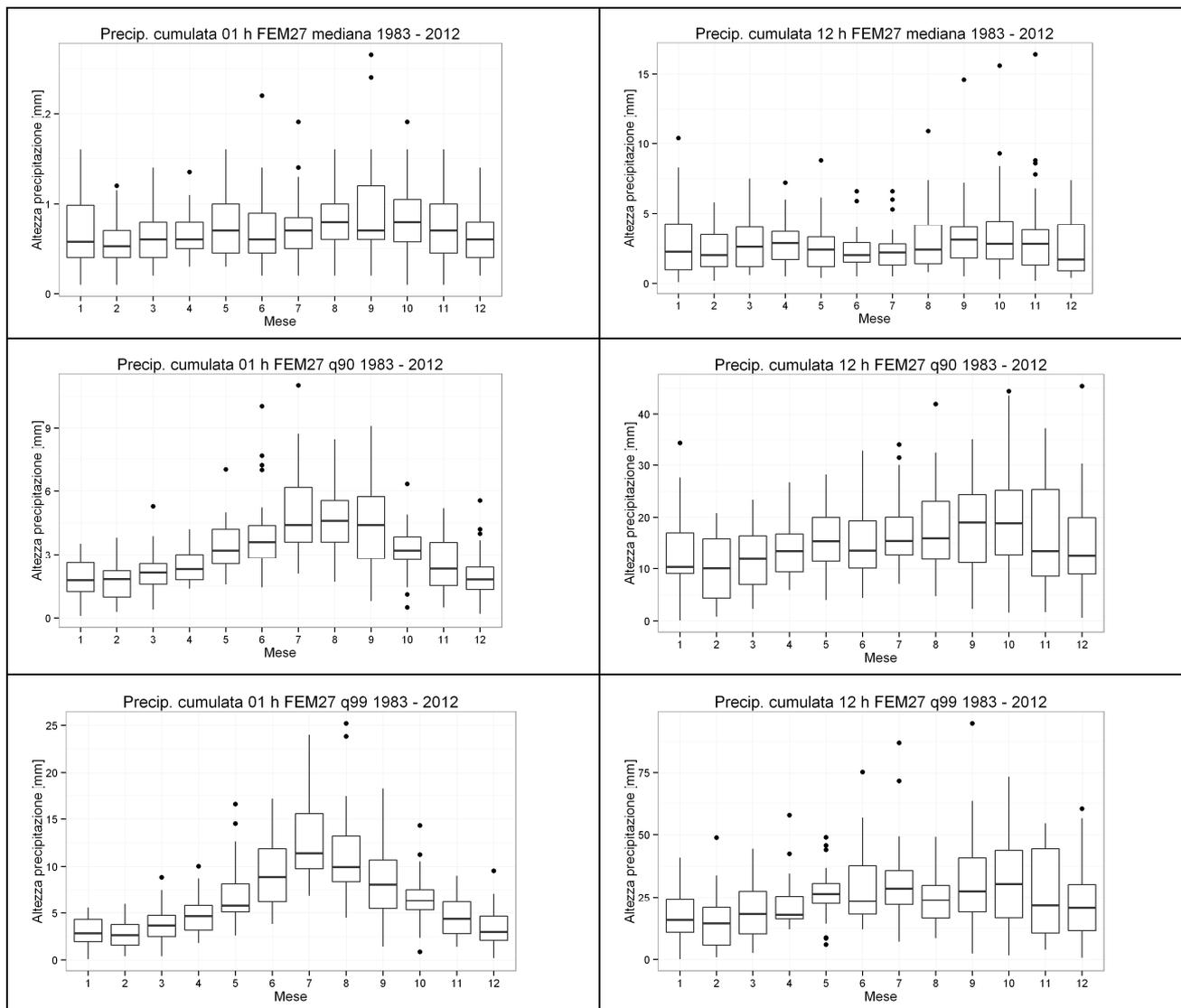


Fig. 7 – Grafici “boxplot” delle altezze di precipitazioni per la stazione FEM27 nel periodo 1983 – 2012. Riquadri di sinistra: 1 ora. Riquadri di destra: 12 ore. Riquadri in alto: mediana. Riquadri intermedi: 90° percentile. Riquadri bassi: 99° percentile. Vedere testo per dettagli sulla costruzione dei boxplot.

I riquadri più alti presentano una stima della distribuzione sugli anni, per ogni mese, di una misura di tendenza centrale (la mediana). In generale, i valori più bassi dei singoli “box” rappresentano i valori registrati con minore frequenza negli anni e quindi sono poco indicativi. Di maggiore interesse sono i valori mediani o elevati (sugli anni), dove si chiariscono bene le dinamiche della precipitazione: sui tempi di aggregazione piccoli (nell’esempio a sinistra è riportato il più piccolo: 1 ora) i valori più alti si raggiungono in estate, quando le piogge temporalesche manifestano le intensità maggiori. Al contrario, per tempi di aggregazione più lunghi (nell’esempio di destra: 12 ore) i valori meno frequenti (parti alte dei “box”) tendono ad essere più elevati in autunno, quando le perturbazioni si manifestano con la persistenza maggiore.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Amerine, M.A., and Winkler, J.A., 1944: Composition and quality of musts and wines of California grapes. *Hilgardia*. 15(6): 493-673.

Bagnouls, F., and Gaussen, H., 1953: Saison sèche et indice xérothermique. *Docum. pour les Cartes des Prod. Veget. Serie: Generalité*, 1 (1953), pp. 1-49.

Conrad, V. 1946: Usual formulas of continentality and their limits of validity. *Transactions, American Geophysical Union*, Volume 27, Issue 5, p. 663-664.

Drago, A., 2005: Atlante climatologico della Sicilia – Seconda edizione. *Rivista Italiana di Agrometeorologia* 10(2):67-83

Eccel, E., Cau, P., and Ranzi, R., 2012: Data reconstruction and homogenization for reducing uncertainties in high-resolution climate analysis in Alpine regions. *Theoretical and Applied Climatology*, 110(3):345-358. DOI 10.1007/s00704-012-0624-z

Eccel, E., Cordano, E., Toller, G., 2014: ClimClass - Climate Classification According To Several Indices. R package. <http://www.R-project.org/>

Eynard, I. e Dal Masso, G., 1990: *Viticultura moderna. Manuale pratico*. Hoepli Milano. 778 pp.

Fregoni, C., et Pezzutto, S., 2000 : Principes et premières approches de l'indice bioclimatique de qualité Fregoni, *Progr.Agric.Vitic.* 117: 390-396.

Gams, H., 1932: Die klimatische Begrenzung von Pflanzenarealen und die Verteilung der hygrischen Kontinentalität in den Alpen. *Zeitschr. Ges. Erdkunde*, Berlin.

Gladstones, J.S., 2004: Climate and Australian Viticulture. In 'Viticulture. Volume 1-Resources'. (Eds Dry PR, Coombe BG) pp. 90-118.

Gorczyński, L. (1920) : Sur le calcul du degré de continentalisme et son application dans la climatologie. *Geografiska Annaler* 2, 324-331.

Guijarro, 2013: package "climatol", R-cran, ver. 2.2. URL: <http://www.climatol.eu/>

Hargreaves, G.H., and Samani, Z.A., 1985: Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2):96-99

Huglin, P., 1978: Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. *Comptes Rendus de l'Académie de l'Agriculture de France*. 64: 1117-1126.

Kliewer, W.M. 1977: Influence of temperature, solar radiation and nitrogen on coloration and composition of Emperor grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*. 28(2): 96-103

Lebourgeoise, F., 2010: *Cours de bioclimatologie à l'usage des forestiers*. Département SIAFEE, UFR Forêts, Arbres et Milieux Naturels. ENGREF, Nancy Cedex.

Lieth, H., Berlekamp, J., Fuest, S., and Riediger, S., 1957: *Walter-Lieth: Climate Diagram World Atlas, CD-Series I of Climate and Biosphere*, 1st edit.

- Michalet, R., and Souchier, B., 1991: Une approche synthétique biopedoclimatique des montagnes méditerranéennes: l'exemple du Maroc septentrional. Thesis, Univ. J. Fourier, Grenoble, 273 pp.
- OIV, 2012: Linee guida OIV sulle metodologie di zonazione vitivinicola a livello del suolo e a livello climatico. Risoluzione OIV-VITI 423-2012 REV1.
<http://www.oiv.int/oiv/info/itresolution2012>
- Péguy, C.P. , 1970 : Précis de climatologie, ed. Masson, Paris.
- Peterson, T.C., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A., Plummer, N., 2001. Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs 1998–2001. In: World Meteorological Organization, Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071, Geneva, IL, 143 p.
- Riou, C., 1994: Le déterminisme climatique de la maturation du raisin: application au zonage de la teneur en sucre dans la Communauté Européenne (E Commission, Éd.). Office des Publications Officielles des Communautés Européennes, Luxembourg, 322p.
- Spayd S., Tarara J., Mee D. and Ferguson J., 2002: Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries. *Am. J. Enol. Vitic.*, 53, 171-182.
- Worldwide Bioclimatic Classification System. Phytosociological Research Center, Spain.
<http://www.globalbioclimatics.org/>.
- Rivas – Martinez: http://www.iao.florence.it/training/geomatics/BenSlimane/Marocco21_3_1_2.htm
- R Development Core Team, 2011: R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, ISBN 3-900051-07-0. URL <http://www.R-project.org/>
- Thornthwaite, C. W., 1948: An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, Vol. 38, No. 1(Jan.):55-94.
- Thornthwaite, C. W., and Mather, J.R., 1955: The water balance. *Publications in Climatology*, Volume 8(1), Laboratory of Climatology
- Thornthwaite, C. W., and Mather, J.R., 1957: Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publications in climatology*, Volume 10(3), Laboratory of Climatology
- Tonietto, J., and Carbonneau, A., 2004. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology*. 124(1/2): 81-97.
- Trewartha, G.T. and Lyle, H.H., 1980: An Introduction to Climate. MacGraw - Hill, 5th Ed. Appendix: Koeppen's Classification of Climates.

APPENDICE A – DETTAGLIO DI GRAFICI E TABELLE ALLEGATI NEL CD ROM

Il CD ROM allegato alla presente relazione contiene le tabelle e i grafici di dettaglio, che non hanno trovato spazio nella relazione (se non come esempi), e i file creati in formato NetCDF per l'analisi delle precipitazioni sub-giornaliere.

Per i riferimenti alle diverse elaborazioni per le diverse serie e identificativi si veda l'anagrafica alla Tab. 1.

Nella cartella “**tabelle**” sono contenute:

- nella cartella “**Precipitazioni sub-giornaliere**”, le tabelle con i valori delle precipitazioni sub-giornaliere, del tipo: “Precip. cumulata [nr.ore] h_[stat].txt”, dove [nr.ore] vale 01, 03, 06, 12 e 24 (ore di precipitazione cumulata) e [stat] può assumere i valori di media, mediana, o q90, q95 e q99 (rispettivamente il 90°, 95° e 99° percentile dei valori.)
- nella cartella “**Quantili bilancio idrico Thornthwaite**”, le tabelle con i quantili mensili delle variabili di bilancio idrico secondo Thornthwaite – Mather, del tipo “[ID]_[Variabile].txt”, dove [ID] è l'identificativo della stazione e [Variabile] indica la variabile del bilancio:
 - o Deficit (differenza tra evapotrasp. potenziale e reale);
 - o ET0 (evapotraspirazione potenziale);
 - o Prec. – Evap. (differenza tra precipitazioni ed evapotraspirazione potenziale);
 - o Precipitation (precipitazioni mensili);
 - o Storage (accumulo nel suolo);
 - o Surplus (eccedenza sopra il valore massimo immagazzinabile).

Nella cartella “**grafici**” sono contenuti:

- nella cartella “**Bagnouls – Gausсен**”, i rispettivi grafici per ogni stazione;
- nella cartella “**Bilancio idrico Thornthwaite**”, i grafici dei quantili mensili delle variabili del bilancio idrico (legenda per le variabili già specificata per le tabelle, qui sopra);
- nella cartella “**Peguy**”, i rispettivi climogrammi per ogni stazione;
- nella cartella “**Precip. sub-giornaliere**”, i grafici con i quantili delle precipitazioni sub-giornaliere, di cui alle tabelle relative (vedere più sopra per le specifiche sul nome dei file);
- nella cartella “**Walter-Lieth**”, i rispettivi grafici per ogni stazione.

Nella cartella “**dati precipitazioni sub-giornaliere**” sono contenuti i file NetCDF creati dalle serie di precipitazioni sub-giornaliere ottenute, suddivisi in 4 gruppi (per questioni di facilità di gestione dei file stessi) in base alla posizione geografica delle stazioni (quadranti).

APPENDICE B – RIFERIMENTI PER GLI INDICI DI CONTINENTALITA' / OCEANICITA'

("continental_ind_tables" – Pacchetto ClimClass)

Gorzynski e Conrad (K)

Transitional maritime	0-33
Continental	34-66
Extremely continental	67-100

Rivas-Martinez (I_c)

Extremely hyperoceanic	0-3
Euhyperoceanic	3-7
Barely hyperoceanic	7-11
Euoceanic	11-18
Semicontinental	18-21
Subcontinental	21-28
Eucontinental	28-45
Hypercontinental	45-65

Gams (α)

Pre-alpine oceanic	< 40
Intermediate	40-50
Interalpine continental	50-70
Extremely continental	> 70

APPENDICE C – RIFERIMENTI PER GLI INDICI DI ARIDITA' / UMIDITA'

("arid_ind_tables" – Pacchetto ClimClass)

De Martonne (I_a)

Dry	< 10
Semidry	10 - 20
Mediterranean	20 - 24
Semihumid	24 - 28
Humid	28 - 35
Very humid a.	35 - 55
Very humid b.	> 55

Emberger (Q)

Desert	< 12
Arid	12-30
Semiarid	30-60
Subhumid	60-100
Humid	> 100

Lang (R)

Steppe	< 40
Semiarid	40 - 60
Temperate warm	60 - 100
Temperate humid	100 - 160
Humid	> 160

Rivas – Martinez (I_o)

Ultrahyperarid	< 0.1
Hyperarid	0.1 - 0.3
Arid	0.3 - 1
Semiarid	1 - 2
Dry	2 - 3.6
Subhumid	3.6 - 7
Humid	7 - 14
Hyperhumid	14 - 28
Ultrahyperhumid	> 28

Thornthwaite (I_m)

Arid (E)	-60 - -40
Semiarid (D)	-40 - -20
Dry sub-humid (C1)	-20 - 0
Moist subhumid (C2)	0 - 20
Humid (B1)	20 - 40
Humid (B2)	40 - 60
Humid (B3)	60 - 80
Humid (B4)	80 - 100
Perhumid (A)	> 100

UNEP (A_i)

Hyperarid	< 0.05
Arid	0.05 - 0.20
Semiarid	0.20 - 0.50
Sub-humid - dry	0.50 - 0.65
Humid	> 0.65

