

GIAN CAMILLO CORTEMIGLIA (*)

LINEAMENTI GENERALI DELLA STORIA CLIMATICA DEL TERRITORIO ALESSANDRINO (PIEMONTE, ITALIA)

Abstract - *The general features of climate history in the Alessandria city territory (Piedmont, Italy).* The overall climatic evolution that characterized the Alessandria's territory since the formation of its wide floodplain up to our days is here described. The climatic evolution was reconstructed on the basis of geo-geomorphological data integrated with analysis of findings, historical documents and instrumental data. The processes that led the Alessandria territory to its present day conformation started in the middle Pleistocene (760.000 B.P.), during the mindellian glacial period. This period was characterized by cold-dry climate conditions that triggered terraces incision processes (*Fluviale antico Auctorum*) and the appearance of steppes and pines in the flood plain and in the valleys respectively. About 450.000 B.P. a growth of the climate warming, along with an increase of the moisture (Great interglacial Mindel-Riss) determined the transition from steppes to a temperate forests (oak-grove type) and the development of strong processes of rubefaction (I order fluvial terraces). The subsequent climate cooling (glacial Riss) produced the formation of the II order alluvial terraces (*Fluviale medio Auctorum*) characterized by morpho-sedimentological evidence of ice floes processes. The following warming was characterized by hot-dry climatic conditions that caused the erosion of the reddish soil of the II order terraces (*Fluviale medio Auctorum*) and its re-deposition, in the area comprised between Pozzolo Formigaro and S. Giuliano Vecchio, above the III order terraces (*Fluviale recente Auctorum*). A new climate cooling, at the beginning of the Würm (115.000-10.000 B.P., last phase of the Quaternary glaciation), determined cryo-troubles process in the recent alluvial sediments (*Fluviale recente Auctorum*). The chronostratigraphic Table 1, Fig. 2 and 3 illustrate the last recent climatic fluctuations, recorded in the Upper Pleistocene and during the Holocene. The temperature trends are evaluated as the deviation from the annual mean temperature of 12,91°C recorded between 1950-1960 in the plain of Alessandria and Tortona.

Key words - Climate history, climate change, Alessandria territory, Piedmont, Italy.

Riassunto - *Lineamenti generali della storia climatica del territorio Alessandrino (Piemonte, Italia).* Viene descritto l'andamento climatico generale sul territorio alessandrino (Fig. 1) dal periodo della formazione paleogeografica della sua estesa pianura, che rappresenta il 61,44% dell'area di estensione provinciale, sino ai giorni nostri sulla base, per i periodi più antichi, di dati ed indizi geologico-geomorfologici, e, per i periodi più recenti, sull'analisi di reperti naturalistici, integrati, per l'era volgare, con dati storici documentari e con registrazioni strumentali. Il territorio alessandrino, compiutamente delimitato nella sua conformazione generale all'inizio del Pleistocene medio (760.000 B.P.), venne interessato nel periodo glaciale mindelliano da un clima freddo secco che favorì le incisioni terrazzate del Fluviale antico Auctorum (terrazzi di I ordine) e l'impianto di una vegetazione steppica nella zona della piana e di pinacee nelle aree vallive. L'avvento verso 450.000 B.P. di

un riscaldamento climatico portò sul territorio alessandrino all'inizio del Grande interglaciale Mindel-Riss che, col suo clima caldo umido, procurò la transizione vegetazionale da steppica a forestale temperata di tipo querceto misto ed a vistosi processi di rubefazione sui terrazzi fluviali di I ordine. Alla fine di questo *Grande interglaciale*, l'inizio di una recrudescenza climatica dette avvio al periodo glaciale del Riss, che portò sul territorio alessandrino alla deposizione dei terrazzi alluvionali di II ordine (Fluviale medio Auctorum), caratterizzati da attività morfosedimentologica dovuta a ghiacci galleggianti. Verso 128.000 B.P., al passaggio tra gli *stage* isotopici 6 e 5 della stratigrafia isotopica standard (carota V 28-238), iniziò sul territorio alessandrino un progressivo riscaldamento del clima con conseguente brusca deglaciazione che dette corso all'interglaciale Riss-Würm (128.000-115.000 B.P.), il cui clima caldo umido produsse processi di rubefazione sui terrazzi alluvionali di II ordine (Fluviale medio Auctorum) e favorì la deposizione dei terrazzi di III ordine (Fluviale recente Auctorum). Verso la fine di questo interglaciale, un'ulteriore crescita della temperatura portò ad un clima sempre più caldo tendente all'arido che comportò lo smantellamento del suolo rubefatto dei terrazzi di II ordine (Fluviale medio Auctorum) e la sua deposizione sui terrazzi di III ordine (Fluviale recente Auctorum) della zona tra Pozzolo Formigaro e San Giuliano Vecchio. Un nuovo raffreddamento del clima dette luogo sul territorio alessandrino all'inizio del Würm (115.000-10.000 B.P.), che, ultimo periodo della glaciazione quaternaria, procurò crioturbazioni nei depositi alluvionali del Fluviale recente Auctorum. Le successive fasi climatiche manifestatesi sul territorio alessandrino nel Pleistocene superiore (Tab. 1) e nell'Olocene sono ricostruite, inquadrando nella cronostratigrafia della Tab. 1, nelle Figg. 3 e 4 come andamento delle variazioni termiche espresse in anomalie della temperatura media annua di 12,91°C registrata strumentalmente nell'intervallo temporale 1950-1960 sulla piana tortonese-alessandrina.

Parole chiave - Storia del clima, variazioni climatiche, Alessandria, Piemonte, Italia.

INTRODUZIONE

La temperatura atmosferica media attuale alla superficie della Terra, che risulta di 13°C (Tardy, 1986; Godrej, 2003), corrisponde alla temperatura di equilibrio termico tra la superficie terrestre e l'atmosfera, mentre la sua reale distribuzione sulla superficie terrestre varia secondo fasce climatiche zonali, i cosiddetti climi zonali, che, distribuiti in successione latitudinale dall'equatore ai poli, sono rappresentati dai climi caldi, climi aridi, climi temperati, climi freddi e climi nivali. Pertanto questo valore di temperatura media atmosferica

(*) Dipartimento per lo studio del Territorio e delle sue Risorse (DIP.TE.RIS), Università degli Studi di Genova, corso Europa 26, 16132 Genova. E-mail: giancamillo@studiocortemiglia.it

sulla superficie terrestre indica che l'attuale bilancio termico globale del sistema terra-atmosfera (radiazione solare, assorbimento atmosferico, emissione del suolo, evaporazione ed emissione atmosferica) mantiene alla superficie della Terra una temperatura media di 13°C, che viene pertanto indicata come clima globale o clima generale della Terra.

Dopo la formazione 4900 Ma della Prototerra per aggregazione di planetesimi e dopo la sua completa fusione 4800 Ma (Farinella, 1983) ad opera di un intenso processo di craterizzazione, prese corpo 4550 Ma (Odin & Odin, 1990), sulla superficie del nostro pianeta, la formazione delle prime zolle cristalline e la deposizione, 3800 Ma (Tardy, 1966), delle rocce sedimentarie, dando così forma, con la presenza di idrosfera e terre emerse, al primitivo clima globale della Terra, che andò poi evolvendosi nel tempo sino ai giorni nostri, dove appunto ha quindi attualmente acquisito questo valore di 13°C.

Le analisi geochimiche ed isotopiche su depositi sedimentari di differenti facies datate radiometricamente hanno consentito alle ricerche di geochimica globale e di geodinamica globale di ricostruire l'andamento del clima globale nel corso dei quattro eon in cui viene suddivisa l'età della Terra (Adeano da 4650 Ma a 3800 Ma, Archeano da 3800 Ma a 2500 Ma, Proterozoico da 2500 Ma a 590 Ma e Fanerozoico da 590 Ma ad oggi), mettendone così in evidenza successioni temporali di significativi cambiamenti e variazioni.

La ricostruzione dell'andamento del clima globale della Terra nel corso dei tempi geologici mostra infatti una curva di evoluzione climatica ampiamente fluttuante fra periodi caldi e freddi, nelle cui variazioni temporali, che definiscono però un andamento medio del clima globale fin dalla sua origine di tipo temperato, si può, sostanzialmente, riconoscere una successione temporale di due diversi tipi estremi di clima globale, ciascuno di variabile durata, ma provvisto di caratteristiche opposte. Questi due tipi estremi di clima globale differiscono tra loro essenzialmente per presentare o meno glaciazioni globali, ossia per mostrare o meno la presenza sulla superficie terrestre di estese calotte glaciali, per cui vengono rispettivamente indicati con le denominazioni (Lethiers, 1998) di *clima globale con glaciazione* (CGG) e *clima globale senza glaciazione* (CGSG).

Il *clima globale con glaciazione* (CGG) si caratterizza per la presenza sulla superficie terrestre di grandi glaciazioni nelle regioni polari dotate di temperature medie inferiori a -30°C e di gradiente termico latitudinale elevato, che mostra, tra l'equatore ed i poli, uno scarto superiore a 50°C.

Il *clima globale senza glaciazione* (CGSG) risulta opposto al precedente e si caratterizza per temperature medie polari di 8°C e per possedere un gradiente termico

latitudinale debole, che presenta, tra l'equatore ed i poli, uno scarto di circa 25°C.

L'attuale clima globale della Terra risulta quindi intermedio tra questi due estremi, in quanto presenta (Brooks, 1970) temperatura media delle regioni polari di -6,67°C e gradiente termico latitudinale, tra l'equatore ed i poli, con uno scarto di circa 33°C.

Nella Fig. 1 viene indicato, per il solo Eon Fanerozoico (da 590 Ma sino ad oggi), l'andamento del clima globale della Terra, in quanto è in questo eon che l'evoluzione climatica ha giocato un ruolo determinante soprattutto sulla biocenosi, mentre negli altri precedenti eon sono prevalse l'evoluzione molecolare (eon Adeano), l'evoluzione biochimica (eon Archeano) e l'evoluzione biologica (eon Proterozoico).

Temperatura media globale della Terra nel Fanerozoico

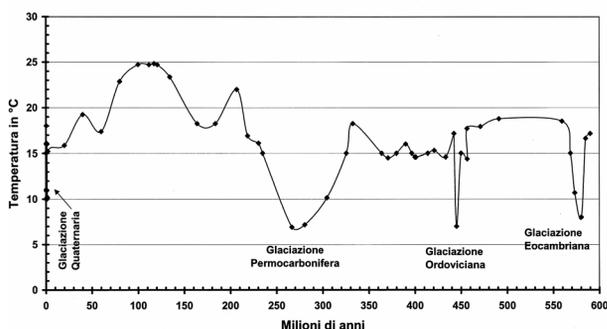


Fig. 1 - Andamento del clima medio globale della Terra nell'eon Fanerozoico ricostruito, sulla base delle facies sedimentarie, dei dati della geochimica isotopica e dei cambiamenti biogeodinamici, per le ere prequaternarie, sull'analisi dei reperti naturalistici e dei morfotipi per l'era Quaternaria e sui riscontri documentari e strumentali per le età storiche.

L'andamento quindi della temperatura media globale della Terra durante il Fanerozoico, come mostra la Fig. 1, evidenzia la presenza di quattro CGG (climi globali con glaciazioni) intervallati da CGSG (climi globali senza glaciazioni), con l'ultima glaciazione, quella quaternaria, verificatasi nell'era geologica in cui viviamo e terminata, con l'ultima sua fase, 10000 anni fa (10000 B.P. = 11400 cal B.P. = 9450 a.C.).

La conformazione geografica (Fig. 2) del territorio alessandrino, in cui le aree collinari del Casalese e del Tortonese, costituite dalle formazioni geologiche del Pedappennino, e quelle tra Villalvernia, Basaluzzo ed Acqui Terme, formate dal BTP (Bacino Terziario Piemontese), sono disposte a semicerchio attorno alla pianura alessandrina, rappresenta il risultato di un'evoluzione geologica, che, iniziata nell'Eocene (55,8 Ma ÷ 33,9 Ma) con l'orogenesi alpina e proseguita con quella appenninica, terminò (Cortemiglia & Cortemiglia,

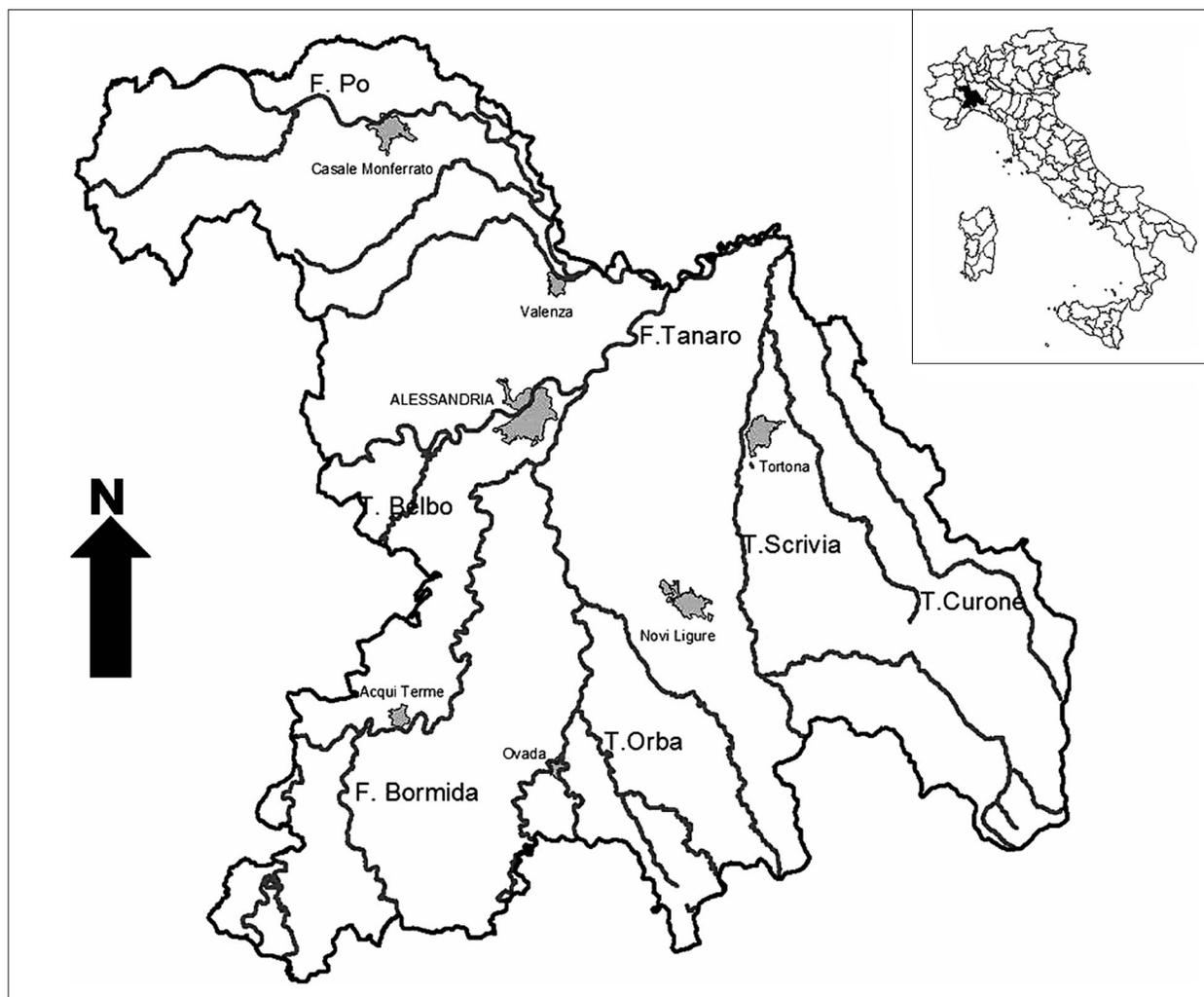


Fig. 2 - Inquadramento geografico generale del territorio alessandrino, che presenta una superficie di 3557,09 km² ed un'altitudine media di 298,66 m sul l.m.m..

2003), con una conformazione paleogeografica dalle linee generali conformi a quelle attuali, solo verso la fine (0,760 Ma) del Pleistocene inferiore.

Pertanto, il territorio alessandrino, nell'ambito della storia climatica del Fanerozoico (Fig. 1), risulta unicamente interessato dal clima della glaciazione quaternaria, perdurato (Tab. 1) fino alla fine del Pleistocene (10000 B.P. = 11400 cal B.P. = 9450 a.C.), e successivamente, soprattutto per l'importanza nei rapporti con la presenza e le attività antropiche, dal clima dell'Olocene.

INQUADRAMENTO CLIMATICO GENERALE NEL PERIODO 1,8 Ma-16550 a.C.

Nel corso iniziale della glaciazione quaternaria, durante il Pleistocene inferiore (1,8 Ma ÷ 0,76 Ma), il terri-

torio alessandrino si presentava quindi nella conformazione paleogeografica di un golfo marino aperto a N sul mare padano e circondato da terre emerse, a NW del Casalese e a NE del Tortonese (formazioni geologiche del Pedappennino), ed a SW e SE rispettivamente dall'Acquese e dall'Appennino ligure (formazioni geologiche del BTP). Con la regressione del mare padano, questa depressione bacinale del golfo, rappresentata dall'attuale area pianiziale del territorio alessandrino, resasi così libera dalle acque, si andò colmando, ad opera di un intenso processo di aggradazione, con i sedimenti terrigeni provenienti dai sottesi reticoli idrografici della catena alpina e ligure appenninica, dando in tal modo corso al modellamento della pianura alessandrina che si presentava pertanto 700.000 B.P., all'inizio del Pleistocene medio (760.000 B.P. ÷ 128.000 B.P.), ormai delimitata nelle sue linee

Tab. 1 - Cronostratigrafia del Pleistocene superiore e dell'Olocene in cui la durata delle epoche e delle età è indicata in data radiocarbonica convenzionale B.P. mentre la durata delle cronozone è espressa in A.D.

Epoche	Età	Cronozone	Anni calendariali	Suddivisioni informali
OLOCENE o POSTGLACIALE da 10000 B.P. ad oggi	SUPERIORE da 3000 B.P. ad oggi	SUBATLANTICO	da 830 a.C. ad oggi	Ipsitermico da 7040 a.C. a 830 a.C.
	MEDIO da 7000 B.P. a 3000 B.P.	SUBBOREALE	da 3515 a.C. a 830 a.C.	
	INFERIORE da 10000 B.P. a 7000 B.P.	ATLANTICO RECENTE	da 4890 a.C. a 3515 a.C.	ALTTERMICO da 9450 a.C. a 3350 a.C.
		ATLANTICO ANTICO	da 7040 a.C. a 4890 a.C.	
PLEISTOCENE SUPERIORE da 128000 B.P. a 10000 B.P.	WÜRM o WISCONSIN o WEICHSCHEL da 115000 B.P. a 10000 B.P.	BOREALE	da 8250 a.C. a 7040 a.C.	TARDIGLACIALE o WÜRM SUPERIORE da 16550 a.C. a 9450 a.C.
		PREBOREALE	da 9450 a.C. a 8250 a.C.	
	RISS-WÜRM o EEMIANO da 128000 B.P. a 115000 B.P.	DRYAS RECENTE o DRYAS III	da 10965 a.C. a 9450 a.C.	WÜRM MEDIO
		ALLERÖD	da 11450 a.C. a 10965 a.C.	
		DRYAS II o DRYAS MEDIO	da 11950 a.C. a 11450 a.C.	
		BÖLLING	da 13050 a.C. a 11950 a.C.	
		DRYAS ANTICO o DRYAS I	da 16550 a.C. a 13050 a.C.	
		PLENIWÜRM o LANTERNE 2	da 70000 B.P. a 15000 B.P. = 16550 a.C.	
	PREWÜRM	da 115000 B.P. a 70000 B.P.	WÜRM INFERIORE	

generali, che assunsero poi la conformazione paleogeografica planiziale definitiva simile all'attuale durante il clima caldo umido dell'interglaciale Günz-Mindel (700.000 B.P. ÷ 650.000 B.P.).

Verso la fine di questo periodo interglaciale caldo umido, il clima cominciò rapidamente a deteriorarsi con una recrudescenza termometrica tale da dar corso al periodo glaciale del Mindel, che, durato da 650.000 B.P. a 450.000 B.P., viene considerato il più freddo dei periodi glaciali pleistocenici. Il notevole abbassamento del livello marino raggiunto in questo periodo glaciale incentivò l'azione erosiva delle aste fluviali divaganti sulla piana, che incisero originando così le scarpate di quei terrazzi di primo ordine appartenenti al Fluviale antico Auctorum (Cortemiglia & Cortemiglia, 2003). Il clima freddo secco di questo periodo glaciale comportò la presenza sulla piana del territorio alessandrino di una vegetazione di tipo steppico freddo, dominata dalle graminacee ed invasiva anche all'interno delle valli con possibile presenza, nelle loro parti montane particolarmente riparate, di pinacee.

Verso la fine di questo periodo glaciale mindelliano, il clima cominciò a riscaldarsi e la crescita della temperatura favorì l'attuarsi del periodo interglaciale Mindel-Riss (450.000 B.P. ÷ 220.000 B.P.), noto anche come il *Grande Interglaciale*, il cui clima caldo umido portò alla transizione sul territorio alessandrino dal paesaggio steppico ad una vegetazione forestale temperata di tipo querceto misto con foreste acide (abeti e pini) nelle parti montane. Il clima caldo umido di questo periodo interglaciale produsse processi di rubefazione, che sono ben evidenziabili sulle spianate dei terrazzi di pri-

mo ordine (Fluviale antico Auctorum) delle zone di Villalvernia e di Serravalle Scrivia (Cortemiglia & Cortemiglia, 2003) e sui depositi eluvio-colluviali siti in località Fornaci di Tortona (Cortemiglia, 1984).

Una nuova recrudescenza climatica, manifestatasi alla fine del periodo interglaciale Mindel-Riss, segnò l'inizio del periodo glaciale del Riss (220.000 B.P. ÷ 128.000 B.P.), il cui abbassamento termico, pur risultando inferiore a quello del precedente glaciale mindelliano, comportò la presenza sulla piana alessandrina di inverni particolarmente freddi, in cui le acque del reticolo idrografico dovevano rimanere per alcuni mesi permanentemente a superficie ghiacciata. Infatti l'alluvionamento primaverile di questo periodo glaciale, che portò alla deposizione delle alluvioni dei terrazzi di II ordine (Fluviale medio Auctorum), si caratterizza per presentare, all'interno di queste alluvioni fluvio-glaciali, grandi massi depositi da lastre di ghiaccio galleggianti (*radeaux de glace* dei francofoni e *ice-floes* degli anglofoni), secondo la tipica attività morfosedimentologica dovuta ai ghiacci galleggianti delle regioni fredde, come dimostrano i caratteri sedimentologici e tessiturali degli affioramenti segnalati e descritti da Cortemiglia (1981a) presso Villalvernia e rilevati cartograficamente da Cortemiglia & Cortemiglia (1994) presso Francavilla Bisio.

Verso 128.000 B.P., al passaggio tra lo *stage* isotopico 6 e lo *stage* isotopico 5 della stratigrafia isotopica standard (carota V 28-238), iniziò un riscaldamento del clima con una crescita progressiva della temperatura, che, provocando una brusca deglaciazione, dette così corso all'interglaciale Riss-Würm (128.000 BP ÷ 115.000

BP) con cui inizia cronologicamente (Tab. 1) il Pleistocene superiore. La crescita della temperatura nella prima fase di questo interglaciale caratterizzò sul territorio alessandrino un clima caldo umido, che produsse processi di rubefazione sulle spianate rissiane dei terrazzi di II ordine (Fluviale medio Auctorum), mentre, contemporaneamente, nella zona un intenso fenomeno di alluvionamento depositava il materiale costituente le spianate dei terrazzi di III ordine (Fluviale recente Auctorum).

L'ulteriore crescita della temperatura portò quindi ad una fase di clima sempre più caldo, tendente all'arido nella parte terminale di questo interglaciale. Durante questa seconda fase più calda dell'interglaciale un importante processo erosivo interessò il suolo rubefatto dei terrazzi di II ordine (Fluviale medio Auctorum), che venne così parzialmente smantellato, trasportato e quindi deposto su tutta quell'area della spianata del terrazzo di III ordine (Fluviale recente Auctorum) compresa tra Pozzolo Formigaro, Rivalta Scrivia e San Giuliano Vecchio, andando così a costituire quell'orizzonte superficiale di colorazione bruno rossiccio a tonalità 5 YR utilizzato poi, in epoca storica, dagli abitanti del luogo per realizzare, con la tecnica del «pisé», le cosiddette *case in terra rossa* o *case in terra cruda* della Frascetta Novese, Tortonese ed Alessandrina. Questo periodo caldo dell'interglaciale Riss-Würm, denominato (Tab. 1) Eemiano nella cronostratigrafia nord europea, favorì quindi, nella zona del territorio alessandrino, la transizione della vegetazione da stepica fredda rissiana a quella tipica forestale temperata del querceto misto.

Alla fine di questo periodo interglaciale caldo Riss-Würm prese corpo nel territorio alessandrino un nuovo raffreddamento del clima, che dette luogo all'inizio del Würm, ultimo periodo glaciale della glaciazione quaternaria. Il Würm terminerà 10.000 B.P. (9450 a.C.) col successivo avvento dell'Olocene o Postglaciale. Questa recrudescenza climatica würmiana, iniziata (Tab. 1) con il Prewürm, durato da 115.000 B.P. a 70.000 B.P., si sviluppò con una successione di fasi denominate Melisey 1 (picco glaciale freddo), St. Germain 1 (fase più temperata), Melisey 2 (picco glaciale freddo), St. Germain 2 (fase più temperata) ed infine Lanterne 1, che chiude (Tab. 1) il Würm inferiore (115.000 B.P. ÷ 70.000 B.P.) e dà inizio al Würm medio (70.000 B.P. ÷ 15.000 B.P.) con lo stage isotopico 4 della stratigrafia isotopica standard (carota V 28-238) considerato da Cremaschi (2000) il vero primo periodo glaciale del Pleistocene superiore. Nella parte iniziale di questo periodo glaciale freddo del Würm medio, denominato (Tab. 1) Lanterne II o Pleniwürm (Pleniglaciale Auctorum), le basse temperature raggiunte nella piana del territorio alessandrino hanno caratterizzato un clima glaciale freddo in grado di provocare nei depositi fluviali dei terrazzi di III ordine (Flu-

viale recente Auctorum) processi di tipo periglaciale, come le crioturbazioni ritrovate in località Maghisellino di Tortona e descritte da Cortemiglia (1981b) in un orizzonte di livelli sabbiosi intercalati a livelli siltoso-argillosi posti alla profondità dal piano campagna tra 2,8 m e 3,78 m. Il clima periglaciale di questo periodo fu altresì caratterizzato anche da un regime anemometrico persistente, che fu in grado di accumulare, nella zona della Cascina Alessandrina presso Novi Ligure, al disopra della superficie abrupta del suolo rubefatto del terrazzo di II ordine (Fluviale medio Auctorum), quel consistente deposito di loess della potenza media di 2 m segnalato e descritto da Biancotti & Cortemiglia (1981).

Durante questa fase di clima freddo vengono segnalate (Venturino, 2009), in località Bosco della Tosella di Villaromagnano e in frazione Rosano di Casalnoceto, le prime scarse tracce, ritrovate però rimaneggiate all'interno di siti neolitici più recenti, di una limitata frequentazione antropica del territorio alessandrino da parte di cacciatori-raccoglitori nomadi del Paleolitico medio (128.000 B.P. ÷ 35.000 B.P.), cultura successiva al Paleolitico inferiore definito da Broglio & Kozłowski (1987, pag.100) come corrispondente al Pleistocene medio (0,76 Ma ÷ 0,128 Ma), e si sono inoltre reperiti, in località Frascata di Brignano Frascata e in frazione Viganà di Dernice, alcuni reperti litici, anch'essi però ritrovati rimaneggiati all'interno di più recenti siti neolitici, del Paleolitico superiore (35.000 B.P. ÷ 10.000 B.P.). Nella parte terminale di questo periodo freddo (pleniglaciale superiore Auctorum) lo *stage* isotopico 2 della stratigrafia isotopica standard (carota V 28-238) indica il verificarsi della sua più intensa fase glaciale, che raggiunse il massimo (Magny, 1995) con le sue condizioni termiche più estreme nell'età radiocarbonica convenzionale di 18.000 B.P. (19.350 a.C.), terminando poi la sua fase nell'età radiocarbonica convenzionale 15.000 B.P. corrispondente a 18.500 cal. B.P. (16550 a.C.), cui farà seguito il periodo, ancora sostanzialmente freddo, del Tardiglaciale (16550 a.C. ÷ 9450 a.C.). Nel Tardiglaciale e nel successivo Olocene la documentata presenza nel territorio alessandrino dell'uomo, divenendo da rara e sporadica a sempre più persistente e permanente, consente di mettere in evidenza anche gli stretti rapporti intercorrenti tra fasi climatiche e attività umane, per cui, al fine di rilevare le più importanti e significative informazioni in grado di far risaltare questa correlazione, mostrandone i sostanziali rapporti di confronto intercorrenti tra storia del clima e storia dell'uomo nel territorio alessandrino, è stato riportato, nelle Figg. 2 e 3, il grafico indicativo dell'andamento termico generale dalla fine del Tardiglaciale a tutto l'Olocene, esprimendone le relative variazioni termiche come anomalie rispetto alla temperatura media annua di 12,91°C riscontrata nella piana tortonese alessandrina nell'intervallo temporale 1950-1960.

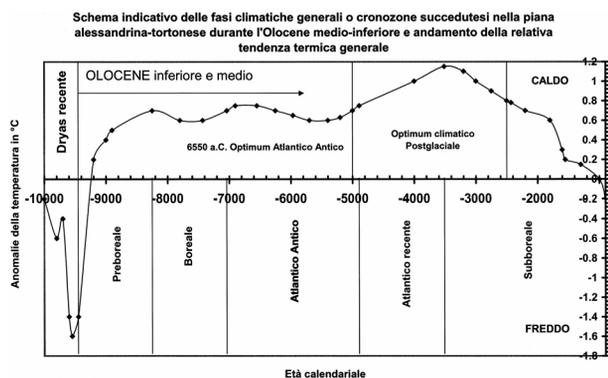


Fig. 3 - Andamento della temperatura media nell'Olocene inferiore-medio (9450 a.C.-3515 a.C.) e superiore (3515 a.C.-900 a.C.) ricostruita per il territorio alessandrino sulla base delle risultanze geologico-geomorfologiche e sull'analisi dei dati naturalistici.

ANDAMENTO CLIMATICO NEL PERIODO TEMPORALE 16550 a.C.-1850 d.C.

Il Tardiglaciale dopo il massimo picco freddo del Pleniglaciale, inizia nell'alessandrino con un clima ancora freddo, che, perdurando (Tab. 1) per tutta la cronozona del Dryas 1 o Dryas antico (16550 a.C. ÷ 13050 a.C.), induce a ritenere presente sul territorio una copertura vegetale di tipo steppa fredda con possibili piccoli boschi di arbusti specie nelle parti vallive protette. Un vero e proprio riscaldamento climatico di rapidità ed ampiezza eccezionale, verificatosi tra 13050 a.C. e 11950 a.C., segna l'avvento (Tab. 1) della successiva cronozona Bölling (13050 a.C. ÷ 11950 a.C.), che raggiunse il suo massimo, indicato come *optimum del Bölling*, verso 14380 cal B.P. (12400 a.C.). Le alte temperature di questo periodo conducono al declino delle steppe fredde presenti sul territorio, che vengono così invase da una vegetazione arbustiva pioniera di quella forestale.

Un deterioramento climatico centrato attorno a 13900 cal. B.P. (Richard, 1999) segna l'inizio (Tab. 1) del Dryas II o Dryas medio (11950 a.C. ÷ 11450 a.C.), il cui clima freddo favorisce l'aumento sul territorio alessandrino della vegetazione erbacea steppica e, nelle sue parti vallive alte, delle pinacee. Il seguente periodo Alleröd, durato dal 11450 a.C. al 10965 a.C., non risulta climaticamente omogeneo, ma presenta fasi alternanti di peggioramenti climatici, di cui il più importante, conosciuto in letteratura col nome di Gerzensee-Killarney, ma usualmente segnalato come IACP (Intra-Alleröd Cold Period), si verificò tra 13290 cal B.P. (11340 a.C.) e 13090 cal B.P. (11140 a.C.).

Con la fine dell'Alleröd (Tab. 1), un peggioramento climatico nel 10965 a.C. (11000 B.P.) segnò l'inizio del Dryas Recente (10965 a.C. ÷ 9450 a.C.), perdurando poi sino all'esordio nel 9450 a.C. (10000 B.P.) del-

l'Olocene, dove comincerà un brusco riscaldamento climatico (Fig. 3), che persisterà, ma con minor intensità nella sua parte finale (9200 a.C. ÷ 8250 a.C.), per tutta la durata del Preboreale (9450 a.C. ÷ 8250 a.C.). Nella fase iniziale del Preboreale (9450 a.C. ÷ 9240 a.C.) le condizioni climatiche del territorio alessandrino risultano però ancora particolarmente fredde come dimostra il ritrovamento nel bacino della Scrivia, all'altezza del Castello della Pietra in Val Vobbia, di un deposito di varve lacustri (Cortemiglia & Pedemonte, 2001), il cui contenuto pollinico rivela l'esistenza di una copertura forestale di *Abies alba* (60%) e di *Pinus sylvestris* (10 %) con presenza di *Juglans*. I ritrovamenti in questo deposito lacustre, al tetto, di un tronco di conifera della lunghezza di 16 m, con diametro verso la base di 50 cm e verso l'apice di 25 cm, e, al suo interno, di uno spezzone ligneo di 170 g, hanno fornito rispettivamente un'età calendariale di 9240 a.C. (11190 cal B.P.) e di 9250 a.C. (11200 cal B.P.), confermando così la presenza nel Preboreale per l'area del territorio alessandrino di una copertura forestale composta prevalentemente da pinacee.

Durante le successive cronozone (Tab. 1) del Boreale (8250 a.C. ÷ 7040 a.C.) e dell'Atlantico Antico (7040 a.C. ÷ 4890 a.C.) la crescita postglaciale della temperatura, che raggiunse valori medi nel territorio alessandrino superiori all'attuale, presenta (Fig. 3) due deterioramenti climatici, uno nel Boreale tra 7800 a.C. e 7400 a.C. culminato attorno al 7430 a.C. e l'altro nell'Atlantico Antico tra 5800 a.C. e 5400 a.C. culminato attorno al 5500 a.C., per poi dal 5200 a.C. crescere nell'Atlantico Recente (4890 a.C. ÷ 3515 a.C.), sino a raggiungere (Fig. 3) un massimo verso 3515 a.C., alla transizione col Subboreale. L'intervallo temporale compreso tra 5000 a.C. e 2500 a.C., a cavallo quindi fra queste due ultime cronozone (Fig. 3), viene denominato *Optimum climatico Postglaciale* per la sua fase di clima caldo umido che favorì, con l'estensione dei boschi a querceto misto (acari, querce, frassini), la radicale trasformazione della presenza antropica sul territorio alessandrino da frequentazione nomade di cacciatori-ricercatori a quella stabile di agricoltori ed allevatori. Le più antiche testimonianze della presenza stabile dell'uomo nel territorio alessandrino si ritrovano soprattutto nelle valli del Tortonese, dove piccole comunità del Neolitico antico (5400 a.C. ÷ 4900 a.C.) nelle zone di Brignano Frascata, Casalnoceto, Monperone, Pozzol Groppo e del Neolitico medio (4900 a.C. ÷ 4300 a.C.) nelle zone di Brignano Frascata, Casalnoceto, Guardamonte di Gremiasco, Villarvernia, ancora dedite alla caccia (Venturino Gambari, 2009), attuavano disboscamenti per procurarsi legname per la costruzione delle capanne abitative e per le necessità quotidiane, nonché per creare spazi o radure per il pascolo del bestiame e per la coltivazione dei cereali.

All'inizio del Subboreale (3515 a.C. ÷ 830 a.C.) il clima del territorio alessandrino subisce (Fig. 3) un deterioramento climatico con la temperatura che decresce sensibilmente per tutta la durata di questa cronozona accompagnata da una diffusa siccità, che raggiunse il suo culmine nel 2100 a.C. (Camuffo, 1990). In questo periodo temporale, si formò nell'area di Tortona il più antico terrazzo alluvionale olocenico di IV ordine dell'attuale corso della Scrivia (Alluvioni antiche Auctorum), che, datato da Cortemiglia & Thommeret (1978) con età radiocarbonica convenzionale a 4380 ± 70 B.P., posa, con potenza di $10 \div 15$ m, sul substrato marnoso del Pedappennino e presenta, per buona parte dell'area antistante l'abitato di Tortona, un suolo con un orizzonte C di colore nero brunastro (10YR3/1), ricco in sostanza carboniosa e dello spessore di $20 \div 30$ cm, posto alla profondità di 4 m dal piano campagna. Tale orizzonte C del profilo pedologico segnala la formazione su questo terrazzo alluvionale, per una durata temporale compresa tra 2500 a.C. e 1500 a.C., di situazioni palustri (Cortemiglia, 1992), che indicano la presenza nel territorio alessandrino, durante l'età del Bronzo antico e medio, di un clima continentale fresco ed umido. Durante questa fase di clima fresco e umido del Subboreale, all'interno delle valli sfocianti sulla piana, l'incremento delle precipitazioni provocò invece sui versanti instabili consistenti fenomeni franosi con formazione di laghi di sbarramento vallivo. Nell'alta valle Scrivia, infatti, lungo l'asta principale del Rio dell'Orso in val Brevenna, si formò, all'altezza dell'abitato di Senarega, un lago di sbarramento, il cui deposito lacustre, contenente tronchi di pinacee per un suo spessore di 55 cm, ha fornito un'età radiocarbonica (Cortemiglia & Pedemonte, 2005) di 2480 cal BC al tetto e di 2620 cal BC alla base, segnalando quindi il perdurare almeno per 140 anni di questa deposizione lacustre.

Il decremento termico iniziatosi nel territorio alessandrino nel Subboreale si incentivò con l'inizio del Subatlantico (Tab. 1) fino a culminare verso 500 a.C. nel cosiddetto *pessimum dell'Età del ferro*. Un clima ancora decisamente freddo proseguì poi (Fig. 4) sino al 350 a.C. caratterizzando così tutto l'arco temporale tra 900 a.C. e 350 a.C., noto in letteratura come *Epoca climatica fredda del primo millennio a.C.*, in cui, più specificamente, l'intervallo temporale più freddo, tra 600 a.C. e 350 a.C., caratterizza la cosiddetta *Piccola Età glaciale arcaica*.

Dopo il 350 a.C. la temperatura cresce sino a raggiungere verso il 50 a.C. valori paragonabili a quelli attuali, caratterizzando così, nel territorio alessandrino, per tutto questo intervallo temporale, un clima fresco ed umido. In valle Scrivia, all'altezza dell'abitato di Variana, un'isola fluviale, posta alla confluenza tra il Rio dell'Isola ed il torrente Spinti, presenta una copertura sedimentaria sul substrato dello spessore di circa 3

Schema indicativo delle fasi climatiche o cronozone succedutesi nella piana alessandrina-tortonese durante l'Olocene superiore e andamento della relativa tendenza termica generale

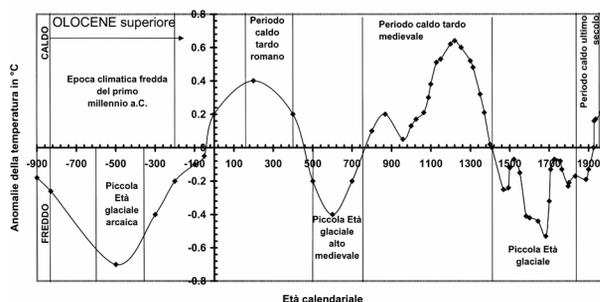


Fig. 4 - Andamento della temperatura media nell'Olocene superiore (900 a.C.-2011 A.D.) ricostruita per il territorio alessandrino in base ai reperti naturalistici e, per il periodo storico, anche dagli atti documentari e dalle registrazioni strumentali.

metri, che, rivelatasi una sede di frequentazione umana di questo periodo temporale (età del ferro), perderà poi, come necropoli con sepoltura a cremazione, sino al I secolo a.C., in quanto alcuni residui ossei umani ritrovati nella sua parte sommitale hanno mostrato (Cortemiglia & Pedemonte, 2008) un'età radiocarbonica di 1990 cal B.P. (40 a.C.).

L'incentivarsi dell'addolcimento del clima dopo il 50 a.C. con un'ulteriore crescita della temperatura (Fig. 4) portò tra il 160 d.C. e 400 d.C. sul territorio alessandrino un clima che, più arido dell'attuale, caratterizzerà la fase climatica denominata *Periodo caldo tardo romano*. Questo periodo siccitoso e arido rappresentò per il territorio alessandrino un importante fattore limitante la produzione agricola, che divenne altresì carente per gli effetti della diminuzione di manodopera provocata da tutta una serie di epidemie ricorrenti culminate nella cosiddetta dagli storici crisi del III secolo (235 ÷ 268 d.C.). La naturale diminuzione della produttività agricola relazionata a questo regime caldo arido portò in tutto il territorio alessandrino, tra il secondo ed il quarto secolo d.C., a fenomeni di abbandono degli insediamenti rurali accompagnati da un impoverimento demografico.

Una successiva recrudescenza climatica, iniziata (Fig. 4) verso il 400 d.C., portò ad un raffreddamento del clima, dando così corso col 500 d.C., all'inizio di una fase fredda umida perdurata fino al 750 d.C., che, con il suo massimo raggiunto tra 536 d.C. e 540 d.C., denominato *Pessimum climatico alto medioevale*, caratterizza (Ortolani & Pagliuca, 2007) la cosiddetta (Fig. 4) *Piccola età glaciale alto medioevale*. Nel breve intervallo temporale di questo pessimum climatico, si susseguirono, come peraltro in tutta Europa, una serie di inverni molto rigidi e di estati con temperature basse al di sotto delle medie stagionali. Questo breve intervallo di peggioramento climatico viene relazionata (Ricci, 2004) all'effetto della deflagrazione di un impatto me-

teorico, che, producendo uno schermo di detriti e polvere alla radiazione solare, provocò il cosiddetto fenomeno dell'*inverno nucleare*. La fase freddo-umida di questo periodo attuata in modo rapido e perdurata per 250 anni si caratterizza, per tutta la fascia latitudinale mediterranea da 31° N a 45° N, per un aumento della piovosità, che, distribuita per tutto il periodo dell'anno, condusse nella piana alessandrina ad importanti episodi di alluvionamento con significative fasi deposizionali, cui vanno riferiti i depositi terrazzati di V ordine (Alluvioni recenti Auctorum) della Scrivia descritti e datati radiometricamente nella loro parte basale ad un'età radiocarbonica convenzionale di 1680 B.P. (Cortemiglia, 1980).

A partire dalla seconda metà del VIII secolo d.C. iniziò (Fig. 4) una fase climatica calda, che, perdurando sino al 1400 d.C., raggiunse il suo culmine, il cosiddetto *optimum climatico medievale* (Pinna, 1996), verso il 1220 d.C. (Le Roy Ladurie, 1972). Questa fase calda dell'alto Medioevo, denominata in letteratura come *periodo caldo tardo medievale* e caratterizzata anche da un certo grado di aridità, si configura associata nel territorio alessandrino a brevi periodi straordinariamente asciutti, come quelli, segnalati, nella primavera del 1155, a Tortona (Legè, 1908), e, nel decennio 1150-1160 d.C., dagli Annali di Caffaro, accompagnati anche da forti carestie, come quella tortonese del 1260 e come quelle segnalate da Schiavina (1857) negli anni 1222, 1232, 1277, 1281 e 1282, oppure associati a sporadici eventi pluviometrici eccezionali, come quelli verificatisi a Tortona nel 1163 e nel 1174 e ad Alessandria nel 1261 (Cortemiglia & Cortemiglia, 2008), nel 1330 A.D. (Ghilini, 1666) e nel 1331 A.D. (Gabotto, 1894). Durante questa fase climatica caldo-asciutta con stagione invernale normalmente mite vengono segnalati da Montemerlo (1618) nell'alessandrino anche episodi di inverni molto rigidi, come quello del 1226, e casi di forti gelate primaverili, come quella del 1286. All'interno delle valli, sui versanti instabili, gli occasionali episodi di piogge eccezionali che si verificarono in questo periodo temporale, furono in grado di attivare collassi gravitativi atti a creare laghetti di sbarramento vallivo, come quello segnalato e descritto da Cortemiglia, Menozzi, Montanari, Pedemonte & Placereani (2004) in alta Valle Scrivia, lungo l'asta principale del torrente Gordenella all'altezza di Gorreto, il cui deposito limoso-argilloso lacustre per uno spessore di 80,5 cm ha fornito al tetto un'età di 700 cal B.P. (1250 A.D.) ed alla base un'età di 760 cal B.P. (1190 A.D.), cioè corrispondente all'optimum di questo *periodo caldo tardo medievale*. L'associazione floristica ritrovata in questo deposito lacustre segnala il predominio di latifoglie mesotermofile con prevalente presenza di *Ostrya carpinifolia* (Carpino nero) e di *Corylus avellana* (Nocciolo) che indicano come, in questo periodo caldo asciutto, questa fosse la vegetazione forestale prevalente.

Superato il massimo termico di questo periodo caldo tardo medievale, la temperatura (Fig. 4) cominciò a diminuire, sino a raggiungere, verso il 1400 d.C., valori medi simili all'attuale, proseguendo poi a decrescere più significativamente e persistentemente sino al 1850 A.D., caratterizzando quindi tra il 1400 A.D. ed il 1850 A.D. un periodo freddo umido noto in letteratura come *Piccola Età Glaciale*. Nella prima parte di questo periodo e fino al 1500 gli inverni particolarmente freddi e secchi nel territorio alessandrino non sono però costantemente persistenti, ma sporadicamente si presentano anche come inverni freddo-umidi con episodi piovosi anche a carattere eccezionale, come quelli segnalati negli anni 1407, 1476 e 1482 A.D. da Ghilini (1666), mentre Lumelli (XVI sec. D.C.) descrive l'eccezionale evento piovoso del 26 ottobre 1486, dove i corsi d'acqua dell'alessandrino esondarono sino a far congiungere le loro acque di piena. Forti gelate con elevati danni alla produzione agricola vengono segnalati (Cortemiglia & Cortemiglia, 2008) in tutto il territorio alessandrino durante questa prima fase climatica (1400 ÷ 1500 A.D.), procurando sovente carestie con conseguenti ricadute negative anche sull'incremento demografico e sull'economia locale. La temperatura riprende a diminuire (Fig. 4) con l'inizio del Cinquecento, sino a raggiungere il minimo verso il 1680 A.D., per poi aumentare sino alla fine del Seicento. Con l'inizio del Settecento il clima si raffredda ulteriormente procurando nel territorio alessandrino forti gelate ed inverni particolarmente freddi, come quelli del 1705, 1708, 1709, 1717, 1734, 1744, 1775, 1778 (Cammarata, 2005; De Conti, 1841, vol. IX e vol. X) e del 1788, 1789 (Corazon, 2002), accompagnati da forti neviccate come quelle del 21 e 22 novembre 1706 (Cammarata, 2005), da gelate primaverili come quelle del 26 maggio 1705, 7 aprile 1778, 6 aprile 1788 (Cammarata, 2005; De Conti, 1841, vol. X) e da intense precipitazioni come quelle del 1 novembre 1705, 27 ottobre 1706, primavera 1717, 10 novembre 1732, aprile e maggio 1733, e 7 agosto 1745 (Bolla, 1947; Cammarata, 2005; Cereti, 1904; De Conti, 1841, vol. IX), con conseguenti significativi danni alla produzione agricola. Particolarmente freddo fu poi l'inverno del 1816, seguito da piogge persistenti in primavera ed estate in conseguenza delle polveri immesse nell'atmosfera dall'eruzione del vulcano indonesiano Tambora, come pure eccezionalmente freddi furono i rigidi inverni del 1829 e 1830 A.D. che provocarono forti danni alla produzione agricola. Questo clima freddo umido persistette fino al 1850, quando la temperatura, iniziando a crescere, favorì l'avvento (Fig. 4) del cosiddetto da Le Roy Ladurie (1982) *periodo caldo dell'ultimo secolo* (1850 ÷ 1955), in cui il progressivo riscaldamento climatico di tipo globale viene, per la prima volta nella storia del clima, individuato e rilevato mediante registrazioni strumentali.

VARIAZIONI CLIMATICHE NEL PERIODO 1850 d.C.-2011 d.C.

Il *periodo caldo dell'ultimo secolo* (1850 ÷ 1955) risulta, rispetto ai precedenti, particolarmente documentabile nella sua variabilità climatica, in quanto le prime apparecchiature di misura meteorologiche, entrate in funzione con la seconda metà del Seicento, sono andate perfezionandosi nel tempo, sino a divenire standardizzate e ben calibrate nell'Ottocento, in modo da consentire così, da questo periodo temporale, di ottenere serie meteorologiche affidabili per l'analisi climatica (Cortemiglia, 2002).

Infatti le prime registrazioni strumentali iniziarono, dopo la realizzazione da parte di Galileo Galilei (*Pisa 15.2.1564 - †Arcetri 8.1.1642) nel 1603 del termosco- pio ad aria e la sua successiva trasformazione in termometro ad aria, quando il Granduca di Toscana Ferdinando II de' Medici costruì il primo termometro a scopo meteorologico, conosciuto in letteratura come *piccolo termometro fiorentino*, ed istituì, tra la fine del 1654 e l'inizio del 1655, la prima rete di un servizio meteorologico internazionale, in cui nelle stazioni di Firenze, Vallombrosa, Bologna, Cutigliano, Milano, Parigi, Innsbruck e Varsavia, si effettuarono cinque letture giornaliere della temperatura dell'aria. L'impostazione strumentale di questo termometro fiorentino, che peraltro rilevava (Cantù, 1985) valori termometrici perfettamente comparabili con i moderni misuratori della temperatura ed il suo successivo perfezionamento, da parte di Christian Huygens (*1629 - †1695) e di Carlo Renaldini (*1615 - †1698), con l'identificazione dei due punti fissi della scala termometrica nella temperatura del ghiaccio fondente e nei vapori dell'acqua bollente, e, da parte di D.G. Fahrenheit (*1686 - †1736), di R.A.F. Réaumur (*1683 - †1757) e di A. Celsius (*1701 - †1744), con l'introduzione, all'interno di questi due punti fissi, di una scala graduata, resero possibile la standardizzazione delle rilevazioni termometriche nelle varie stazioni meteorologiche già a partire dalla seconda metà del Settecento, per cui fin da tale periodo si possiedono lunghe serie di osservazioni termometriche. Oltre alla rilevazione della temperatura nella prima metà del Seicento si realizzarono altresì anche misuratori della quantità di pioggia caduta, come il pluviometro realizzato con un vaso di vetro nel 1639 dal monaco bresciano Benedetto Castelli (*Brescia 1578 - †Roma 9.4.1643), sino a promuovere le prime continuative misurazioni pluviometriche nel 1668 a Parigi da parte Pierre Perraul (*1608 - †1680) e nel 1677 in Inghilterra da parte di Richard Towneley (*10.10.1629 - †22.1.1707), per cui anche già a partire dalla seconda metà del Settecento si possiedono lunghe serie pluviometriche.

Nel territorio alessandrino però le registrazioni strumentali entrarono in funzione con osservatori affidabili

li solo nella seconda metà dell'Ottocento (Cortemiglia, 1999), per cui da tale periodo temporale si possiedono, con le stazioni meteorologiche di Alessandria e di Tortona, lunghe serie di registrazioni strumentali termopluviometriche in grado di fornire, per l'intervallo temporale del *periodo caldo dell'ultimo secolo* (1850-1955), più specifiche e dettagliate informazioni sulla variabilità climatica di questi che sono i due più importanti parametri meteorologici del clima locale.

Le serie termometriche di Alessandria (1854-2011) e di Tortona (1890-2011), dopo la validazione statistica dei loro dati osservazionali con i test di indipendenza non parametrici e parametrici (Cortemiglia, 2002), analizzate con il test statistico di Mann-Kendall sviluppato secondo le indicazioni di Sneyers (1975) ed associato al grafico di Pettitt (1979) ed al test di autocorrelazione di Wald-Wolfowitz adottato secondo le indicazioni di Todaro & Migliardi (2000), hanno rilevato presenza di trend positivo. La serie termometrica di Alessandria (Fig. 5) mostrando al test di Pettitt un trend positivo con anno di variazione della tendenza (*change point*) nel 1941 evidenzia che la temperatura media annua da 12,5°C del periodo 1854-1940 è pas-

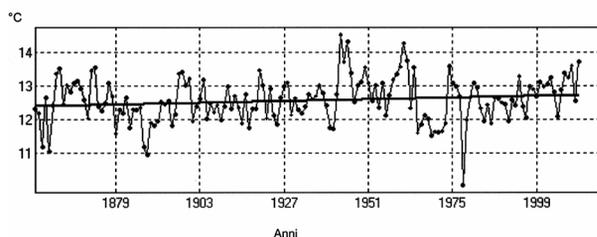
STAZIONE: ALESSANDRIA INTERVALLO TEMPORALE: 1856-2011

SERIE CRONOLOGICA IN ESAME: Temperature medie annue

Numero totale N di osservazioni: 156

TREND SECOLARI

Temperature nel periodo



Retta di regressione: $y = 0.0022x + 8.27$. Coeff. di correlazione $r = 0.151$
 Ampiezza di tendenza della deviazione standard 0.35
 Scarto probabile $Er = 0.05$. Regola di Pearson ($|r| \geq 6 \times Er$) = 0.32

Temperature nel periodo

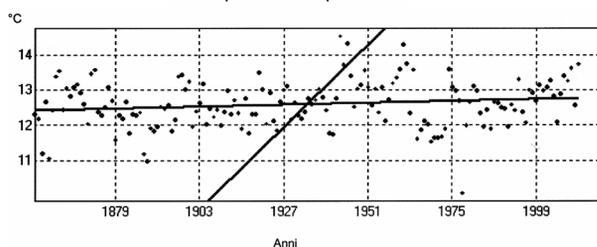


Fig. 5 - Andamento per la stazione meteorologica di Alessandria della temperatura media annua nel periodo 1854-2011 in alto e della correlazione tra le due variabili dipendente ed indipendente in basso.

sata al valore di 12,7°C nel periodo 1941-2011, confermando così che il cosiddetto *periodo caldo dell'ultimo secolo* (1850 ÷ 1955) è ancora attualmente in atto. La serie termometrica di Tortona (Fig. 6) mostrando al test di Pettitt una variazione di tendenza con inizio negli anni 1919 e 1941 attesta che la temperatura media annua è cresciuta da 12,2°C del periodo 1890-1918 al valore di 12,6°C del periodo 1919-1940 ed a quello di 12,7°C del periodo 1941-2011, confermando così la prosecuzione sino ai nostri giorni del *periodo caldo dell'ultimo secolo* (1850 ÷ 1955).

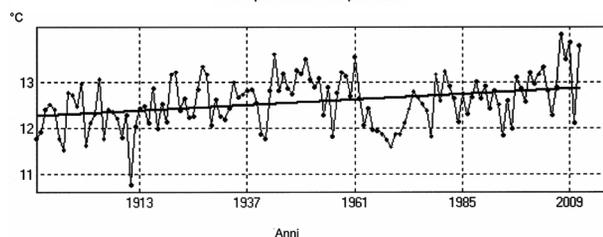
STAZIONE: TORTONA SEMINARIO
INTERVALLO TEMPORALE: 1890-2011

SERIE CRONOLOGICA IN ESAME: Temperature medie annue

Numero totale N di osservazioni: 122

TREND SECOLARI

Temperature nel periodo



Retta di regressione: $y = 0.0051x + 2.54$. Coeff. di correlazione $r = 0.328$
Ampiezza di tendenza della deviazione standard 0.62
Scarto probabile $Er = 0.05$. Regola di Pearson ($|r| >= 6 \times Er$) = 0.33

Temperature nel periodo

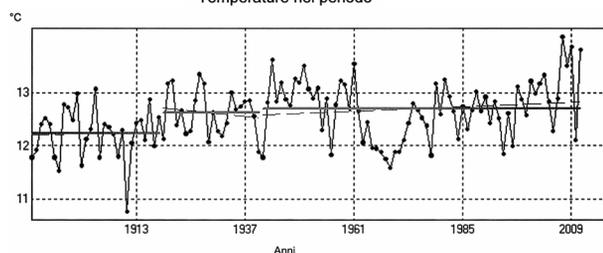


Fig. 6 - Andamento per la stazione meteorologica di Tortona della temperatura media annua nel periodo 1890-2011 in alto e stima, col metodo Todaro & Migliardi (2000), della variazione termica in basso.

Le serie pluviometriche di Alessandria (Fig. 7) e di Tortona (Fig. 8) sottoposte alla stessa procedura statistica già adottata per le loro serie termometriche attestano presenza di trend decrescente per le piogge di Alessandria ed assenza di trend per quelle di Tortona. La serie pluviometrica di Alessandria, mostrando al test di Pettitt una variazione di tendenza con inizio nell'anno 1920 attesta che la precipitazione media annua da 666 mm del periodo 1856-1919 si è ridotta a 601 mm nel periodo 1920-2011 con un decremento quindi nella

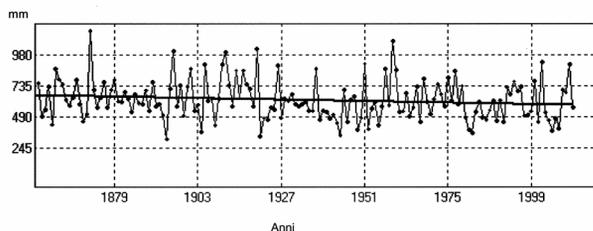
STAZIONE: ALESSANDRIA INTERVALLO TEMPORALE: 1856-2011

SERIE CRONOLOGICA IN ESAME: Precipitazioni annue

Numero totale N di osservazioni: 155

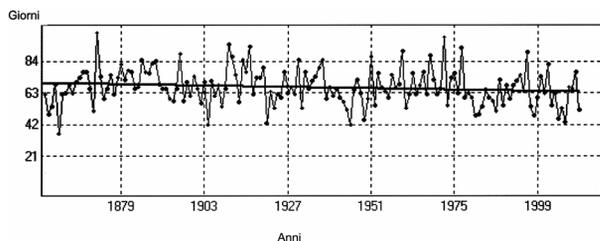
TREND SECOLARI

Precipitazioni nel periodo



Retta di regressione: $y = -0.5239x + 1640.24$. Coeff. di correlazione $r = -0.15$
Ampiezza di tendenza della deviazione standard -80.68
Scarto probabile $Er = 0.05$. Regola di Pearson ($|r| >= 6 \times Er$) = 0.32

Numero di giorni piovosi nel periodo



Retta di regressione: $y = -0.0376x + 139.61$. Coeff. di correlazione $r = -0.14$
Ampiezza di tendenza della deviazione standard -5.79
Scarto probabile $Er = 0.05$. Regola di Pearson ($|r| >= 6 \times Er$) = 0.32

Fig. 7 - Andamento per la stazione meteorologica di Alessandria nell'intervallo temporale 1856-2011 delle quantità di precipitazione annua in alto e del numero di giorni piovosi in basso.

quantità di pioggia annua di 65 mm, che viene ulteriormente confermato dalla mancanza di trend nell'andamento dei giorni piovosi del periodo 1857-2011, il cui valore medio risulta di 67 giorni piovosi annui. La serie pluviometrica di Tortona non evidenzia (Cortemiglia, 2010) tendenza nell'andamento della quantità annua di precipitazioni e di giorni piovosi che presentano rispettivamente valori medi annui nel periodo 1873-2011 di 684 mm e di 70 giorni piovosi.

CONCLUSIONI SULL'ANDAMENTO CLIMATICO ATTUALE

L'insieme complessivo delle risultanze accertabili con l'analisi climatica delle serie termopluviometriche di Alessandria e di Tortona consentono quindi di indicare per il territorio alessandrino la persistenza sino ai nostri giorni del cosiddetto *periodo caldo dell'ultimo secolo* (1850 ÷ 1955), in cui la temperatura media annua risulta con tendenza a crescere e le precipitazioni

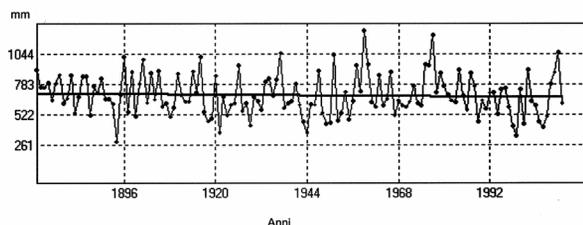
STAZIONE: TORTONA Seminario INTERVALLO TEMPORALE: 1873-2011

SERIE CRONOLOGICA IN ESAME: Precipitazioni annue

Numero totale N di osservazioni: 139

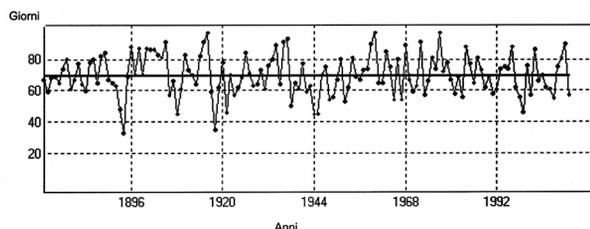
TREND SECOLARI

Precipitazioni nel periodo



Retta di regressione: $y = -0.3065x + 1289.52$. Coeff. di correlazione $r = -0.07$
 Ampiezza di tendenza della deviazione standard -42.30
 Scarto probabile $Er = 0.06$. Regola di Pearson ($|r| \geq 6 \times Er$) = 0.34

Numero di giorni piovosi nel periodo



Retta di regressione: $y = -0.0034x + 76.44$. Coeff. di correlazione $r = -0.01$
 Ampiezza di tendenza della deviazione standard -0.47
 Scarto probabile $Er = 0.06$. Regola di Pearson ($|r| \geq 6 \times Er$) = 0.35

Fig. 8 - Andamento per la stazione meteorologica di Tortona nell'intervallo temporale 1873-2011 della quantità di precipitazione annua in alto e dei giorni piovosi in basso.

medie annue con prevalente tendenza a diminuire, quindi sostanzialmente permette di accertare la permanenza dal 1850 sul territorio alessandrino di un clima temperato caldo a marcata stagionalità (tipo climatico Thornthwaite C1 d B'2 b'3 per Alessandria e tipo climatico Thornthwaite C1 s B'2 b'3 per Tortona) con regime pluviometrico a massimi principali in primavera (aprile e maggio) e in autunno (ottobre e novembre) e con aridità nei mesi di giugno, luglio, agosto e settembre.

BIBLIOGRAFIA

- BIANCOTTI A., CORTEMIGLIA G.C., 1981. Ritrovamento di loess sul «Fluviale medio» della Scrivia presso Novi Ligure (Piemonte - Italia). *Quaderni Ist. Geol. Univ. Genova*, 2, (5): 107-125.
- BOLLA I., 1947. Memorie. In: Santagostino T., Il '700 in Alessandria, Tip. Ferrari, Ocella, Alessandria, 400-445.
- BROGLIO A., KOZLOWSKI J., 1987. Il Paleolitico. Uomo, ambiente e culture. Edit. Jaca Book, Milano, 1-436.
- BROOKS C.E.P., 1970. Climate through the ages. A study of the climatic factors and their variations. Dover Publ., New York, second edition, 1-395.
- CAMMARATA I., 2005. Storie del Settecento. Il Tortonese e dintorni dall'Austria ai Savoia, Edit. EDO Oltrepò, Voghera, 1-288.
- CAMUFFO D., 1990. Clima e uomo. Edit. Garzanti, Milano, 1-209.
- CANTÙ V., 1985. Alla ricerca di documenti sul clima passato. *Accad. E Bibliotec. Ital.*, 53, 2, Edit. Frat.lli Palombi, Roma, 103-110.
- CERETI P.E., 1904. Assedio della città e del Castello di Tortona nell'anno 1745. Diario di Carlo Fulchignone. *Boll. Soc. Studi St. Econ. Arte Tor.*, 6: 3-49.
- CORTEMIGLIA F., CORTEMIGLIA G.C., 1994. Carta geomorfologica della pianura tortonese-alessandrina. Edit. Litocoop, Tortona.
- CORTEMIGLIA F., CORTEMIGLIA G.C., 2003. La storia geologica e geomorfologica del territorio tortonese. *Dertona Historia Patriae*, 1: 13-56.
- CORTEMIGLIA F., CORTEMIGLIA G.C., 2008. Lineamenti climatici del Tortonese tra il V ed il XIV secolo d.C. *Dertona Historia Patriae*, 3, (1): 1-28.
- CORTEMIGLIA G.C., 1981a. Indizi di probabile trasporto fluviale per galleggiamento su lastre di ghiaccio osservati nelle alluvioni pleistoceniche della Scrivia presso Villalvernia (Piemonte). *Riv. Geogr. Ital.*, 88, (2): 175-182.
- CORTEMIGLIA G.C., 1981b. Segnalazione di crioturbazioni nei depositi costituenti il terrazzo «Fluviale recente» a Tortona (Piemonte). *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, 4: 75-86.
- CORTEMIGLIA G.C., 1984. Lembo eluvio-colluviale a pedogenesi lateritica del Mindel-Riss rinvenuto a Tortona. *Stasimon*, 3: 125-168.
- CORTEMIGLIA G.C., 1992. Tracce di area palustre a Tortona (Piemonte-Italia) sul terrazzo fluviale delle alluvioni antiche (4380 ± 70 B.P.). *Iulia Dertona*, seconda serie, 11, (70): 5-12.
- CORTEMIGLIA G.C., 1999. Serie climatiche ultracentenarie. *Collana Studi climatologici in Piemonte*, Regione Piemonte, Torino, 3: 1-92.
- CORTEMIGLIA G.C., 2002. Messa a punto di una procedura per l'analisi climatica delle serie termopluviometriche storiche italiane con relativa applicazione esemplificativa alla serie storica di Genova (1833-2001). *DIP.TE.RIS*, Quaderno N. 3, 1-162.
- CORTEMIGLIA G.C., 2010. La serie pluviometrica di Tortona (1873-2009) prolungata con i dati del Nuovo Osservatorio Meteorologico realizzato nella torretta del Seminario Vescovile. *Iulia Dertona*, 61, seconda serie, 102, (2): 151-180.
- CORTEMIGLIA G.C., MENOZZI B.I., MONTANARI C., PEDEMONTE S., PLACEREANI S., 2004. Ritrovamento di un deposito lacustre di età medioevale in Val Gordenella (Piemonte-Italia). *In Novitate*, 19, 2, (38): 59-66.
- CORTEMIGLIA G.C., PEDEMONTE S., 2001. Ritrovamento nell'Appennino ligure-piemontese (Val Vobbia-Genova) di varve lacustri appartenenti alla cronozona preboreale. *Il Quaternario*, 14, (1): 23-30.
- CORTEMIGLIA G.C., PEDEMONTE S., 2005. Il deposito lacustre Subboreale di Senarega. *In Novitate*, 20, 1, (39): 55-58.
- CORTEMIGLIA G.C., PEDEMONTE S., 2008. Ritrovamento nel torrente Spinti, in località Variana, di un'isola fluviale sede di un insediamento umano del primo secolo a.C. *In Novitate*, 23, 1, (45): 13-18.
- CORTEMIGLIA G.C., THOMMERET J., 1978. Ritrovamento di un livello terrazzato olocenico nel Pleistocene (Fluviale recente) della sponda sinistra del torrente Scrivia. *Rend. Soc. Geol. It.*, 1: 9-11.
- CORTEMIGLIA G.C., THOMMERET J., 1980. Datazione assoluta di un terrazzo olocenico appartenente ai depositi alluvionali del torrente Scrivia. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. Mem. ser. A*, 87: 163-169.

- CREMASCHI M., 2008. Manuale di geoarcheologia. Edit. Laterza, Bari, 1-386.
- DE CONTI G., 1840. Notizie storiche della città di Casale e del Monferrato. IX, 1-608 e X, 1-468, Tip. Casuccio e Bagna, Casale Monferrato.
- GABOTTO F., 1894. Storia del Piemonte nella prima metà del secolo XIV (1292-1349). Editori Fratelli Bocca, Torino, 1-271.
- GHILINI G., 1666. Annali di Alessandria ovvero le cose accadute in essa città. Nel suo e circonvicino territorio dall'anno dell'origine sua sino al MDCLIX. Stamparia Gioseffo Marelli, Milano, 1-340.
- GODREJ D., 2003. I cambiamenti climatici. Edit. Carocci, Roma, 1-160.
- FARINELLA P., 1983. L'infanzia della Terra. *L'Astronomia*, 16, 149: 12-19.
- LEGÈ V., 1908. Federico Barbarossa all'assedio di Tortona nel 1155. Scuola Tipografica Artigianelli, Tortona, seconda edizione accresciuta, 1-53.
- LE ROY LADURIE E., 1972. Tempo di festa, tempo di carestia. Storia del clima dall'anno mille. Einaudi Editore, Torino, Paperbacks 138, 1-449.
- LETHIERS F., 1998. Evolution de la biosphère et événements géologiques. Gordon & Breach Sc. Publ., Amsterdam, 1-321.
- MAGNY M., 1995. Une histoire du climat. Des derniers mammoths au siècle de l'automobile. Editions errance, Paris, 1-176.
- MONTEMERLO N., 1618. Raccoglimento di nuova historia dell'antica città di Tortona. Nicolò Viola Editore, Tortona, 1-428.
- ODIN G.S., ODIN C., 1990. Echelle numérique des temps géologiques. *Géochronique*, 35: 12-21.
- OROMBELLI G., RAVAZZI C., 1996. The late glacial and early Holocene: chronology and paleoclimate. *Il Quaternario*, 9, (2): 439-444.
- ORTOLANI F., PAGLIUCA S., 2007. La valorizzazione ed il restauro geoambientale dei litorali del Mediterraneo nell'attuale periodo di cambiamento climatico. *Atti Terzo Forum Nazionale*, Edit. Maggioli, Santangelo di Romagna, 33-59.
- PETTIT A.N., 1979. A non-parametric Approach to the Change-point Problem. *Appl. Stat.*, 28, (2): 126-135.
- RICCI E., 2004. 536 d.C.: inverno nucleare. L'impatto di una cometa minacciò la civiltà europea? *Le Scienze*, n. 429, Scienza news, Milano, 28-29.
- RICHARD H., 1999. La Palynologie. In: Bourquin-Mignot C. *et al.*, La botanique. *Collection «Archéologiques»*. Editions Errance: 9-42.
- SCHIAVINA G., 1857. Annales alexandrini. In: Ponzilione V.F., I, dal MCCCX al MDCXVI, Ex Officina Regia, Torino, 1-719.
- SNEYERS R., 1975. Sur l'analyse statistique des séries d'observations. *Note Technique n. 143, O.M.M. n. 415, Secrétariat O.M.M.*, Genève, Suisse, 1-192.
- TARDY Y., 1986. Le cycle de l'eau. Climats, Paléoclimats et Géochimie globale. Edit. Masson, Paris, 1-338.
- TODARO C., MIGLIARDI E., 2000. Opinioni sullo studio delle tendenze climatiche. *Boll. Geofisico*, 23, (3-4): 115-121.
- VENTURINO GAMBARI M., 2009. Alla conquista dell'Appennino. Le prime comunità delle valli Curone, Grue e Ossona. *Iulia Dertona*, seconda serie, 58, (100): 13-56.

(ms. pres. il 20 ottobre 2012; ult. bozze il 15 dicembre 2012)