**Il Quaternario: cronologia, suddivisioni e terminologia**

Marco Peresani

Università di Ferrara

Nella storia geologica della Terra, il termine Quaternario - coniato nel 1760 dal geologo Giovanni Arduino - indica la parte più recente, l'ultima delle tre che scandiscono l'era Cenozoica. Inizialmente riconosciuto per l’estrema variabilità climatica, anche marcata dalle numerose glaciazioni, il Quaternario (2,58 Ma, milioni di anni fa – attuale) abbraccia la storia evolutiva del genere *Homo*. Per questi motivi, il campo di ricerca del Quaternario coinvolge molte scienze e discipline come la sedimentologia, paleontologia, tettonica, geomorfologia, pedologia, antropologia, archeologia e altre, che trovano applicazione nello studio dei depositi e delle caratteristiche degli ambienti marini e continentali. Le associazioni scientifiche di riferimento sono INQUA – *International Union of Quaternary Research* e, in Italia, AIQUA - Associazione Italiana per lo Studio del Quaternario. Entrambe sono impegnate nell’indagine di dati paleoclimatici e paleobiologici di diversa natura, utili per valutare la storia passata e l'evoluzione futura del nostro pianeta.

**Suddivisioni e terminologia formale**

Le principali suddivisioni cronologiche del Quaternario sono riportate nella tabella presentata in Figura 1 (modificata), proposta e costantemente aggiornata a partire dal 2004 da K.M. Cohen e P.L. Gibbard nella terminologia di uso globale (Cohen e Gibbard, 2019) e in quella di uso regionale. Dell’istituzione e dell’aggiornamento di queste suddivisioni si occupano formalmente la *Stratigraphy and Chronology* *Commission* di INQUA (SACCOM) e l’*International Commission on Stratigraphy* (ICS) (Sottocommissione: *Quaternary Stratigraphy* - SQS) dell’*International Union of Geological Sciences* (IUGS). La tabella di Figura 1 copre gli ultimi 2,7 Ma, mentre quella di Figura 2 copre gli ultimi 0,05 Ma e, nell’ultima colonna presenta la suddivisione adottata in Europa centro-occidentale, maturata nei diversi ambienti di studio del Quaternario. Questa suddivisione non risulta valida al di fuori di questa area geografica.

La tabella presenta: la suddivisione standard globale del Pleistocene e dell’Olocene (Walker et al. 2012, 2018; Head e Gibbard, 2015), il modello combinato della cronologia geomagnetica, i record isotopici dei carotaggi oceanici (Channell et al., 2016), gli Stadi Marini Isotopici (MIS – *Marine Isotope Stage*; Lisiecki and Raymo, 2005), i record dei carotaggi antartici (Vostok; EPICA Dome-C), le sequenze terrestri dei Loess cinesi (Ding et al., 2005) e le loro correlazioni in Europa. La scala temporale si riferisce alla suddivisione cronostratigrafica/geocronologica formale, riconosciuta internazionalmente: Eonatema/Eone Fanerozoico; Eratema/Era Cenozoica; Sistema/Periodo Quaternario; Serie/Epoca Pleistocene e Olocene, ognuna delle quali con proprie divisioni in Sottoserie fino al livello formale di Stadio/Età, cioè l’unità di base della carta cronostratigrafica IUGS-ICS. Attualmente il Quaternario include i seguenti Stadi: Gelasiano e Calabriano compresi nella Sottoserie Pleistocene inferiore, Chibaniano nel Pleistocene Medio, nessuno Stadio nel Pleistocene superiore e i tre Stadi recentemente introdotti nella suddivisione della Sottoserie Olocene (Walker et al., 2018).

All’incirca nell’ultimo Ma, dopo un periodo di transizione, i cicli climatici assunsero una periodicità di circa 100mila anni favorendo l’affermazione di fasi glaciali prolungate e intense, mentre nel periodo precedente la periodicità di 41mila anni caratterizzò l’affermazione di glaciali meno severi, più brevi e complessivamente miti. Il Pleistocene inferiore registra infatti picchi molto profondi e isolati, corrispondenti a fasi di espansione glaciale.

Gli Stadi, e quindi anche le Sottoserie, le Serie e i Sistemi, sono definiti formalmente sulla base delle Sezioni e dei Punti Stratigrafici di Riferimento Globali, i *Global Stratotype Section and Points* (GSSP) che vengono posizionati alla base di ogni Stadio, laddove ne sia stato validato il riconoscimento da parte della IUGS-ICS. Si tratta materialmente di depositi stratificati di ambiente marino o continentale la cui risoluzione e contenuto informativo di dati climatici proxy risultano così consistenti da permettere il riconoscimento di un cambiamento nel sistema biotico e abiotico riconducibile a un fenomeno globale. Due di questi GSSP dividono il Quaternario nelle Serie Pleistocene e Olocene, mentre ulteriori GSSP possono determinare la suddivisione di ciascuna Serie in più Stadi e in più Sottoserie intermedie, come è stato recentemente formalizzato a carico dell’Olocene. La base del Pleistocene (Gibbard e Head, 2010; Gibbard et al., 2010) è definita dal GSSP di Monte San Nicola in Sicilia, che marca la base del Gelasiano a 2,58 Ma (Rio et al., 1998), sostituendo in tal modo il precedente (pre-2009) limite tra Pliocene e Pleistocene a 1,8 Ma registrato nel GSSP dei sedimenti marini esposti nella sezione di Vrica in Calabria (da cui il termine Calabriano; Aguirre e Pasini, 1985).

Questo limite corrispondeva alla prima evidenza di raffreddamento climatico, preceduta da molteplici eventi di abbassamento della temperatura superficiale delle acque oceaniche causati dalla chiusura del canale di comunicazione tra Pacifico e Atlantico, nell’America Centrale, attivo fino a 3,2 Ma. La significativa ristrutturazione della circolazione oceanica e atmosferica che ne seguì nell’emisfero settentrionale innescò estese oscillazioni termiche, tra cui quella datata a 2,55 Ma (Cita, 2008).

Oltre agli Stadi Gelasiano e Calabriano, la Serie Pleistocene comprende un ulteriore Stadio, recentemente formalizzato con il GSSP Chibaniano, identificato nei depositi marini esposti in una sezione ubicata sulla penisola di Chiba in Giappone e posizionato a 0,78 Ma, alla base del Pleistocene medio. La ragione per dividere il Pleistocene medio da quello inferiore è legata tradizionalmente alla transizione climatica verso condizioni glaciali più durature e severe, nota come Rivoluzione del Pleistocene medio e sviluppatasi nell’intervallo 1,2 - 0,5 Ma (Head e Gibbard, 2005, 2015; Head et al., 2008). L’inizio del Pleistocene medio è marcato anche dall’importante fenomeno di inversione della polarità del campo geomagnetico, con il passaggio dal Chron Matuyama al Brunhes (Richmond, 1996).

Una Sottoserie non ancora definitivamente formalizzata resta quella del Pleistocene superiore (0,13-0,0117 Ma), il cui inizio necessita di essere identificato con un adeguato GSSP (Figura 2). Per il momento, la base del Pleistocene superiore viene tradizionalmente collocata all’inizio dell’ultimo Interglaciale (un tempo noto anche come Interglaciale Riss ÷Würm, termine oggigiorno abbandonato), immediatamente dopo la Termination II, termine che indica il passaggio da un *Marine Isotopic Stage* (MIS – Stadio Isotopico Marino) all’altro nei record isotopici di fondo oceanico e prossimi alla superficie (es. barriere coralline) (Siddall et al., 2003; Medina-Elizalde, 2013). Nell’Europa occidentale (Litt and Gibbard, 2008) e nell’Atlantico settentrionale (NEEM community members, 2013), tale limite coincide grossomodo con la base dell’Eemiano, uno Stadio regionale definito su sequenze polliniche (Shackleton et al., 2003). A questo stadio, seguono per tutto il Pleistocene superiore ulteriori Stadi regionali definiti su basi diverse (Figura 2).

Il limite tra Pleistocene e Olocene è collocato a 11.703 anni calendario dal presente (cal BP, formalmente riferito al 1950 DC) ed è identificato come GSSP (Walker et al., 2009) alla profondità di 1492.45m lungo il carotaggio North-GRIP del *Greenland Ice-Core Project* (GRIP - Rasmussen et al., 2006; Hoek, 2008). Un’ulteriore formalizzazione riguarda la suddivisione dell’Olocene in antico, medio e recente, ciascuno marcato alla base dal proprio GSSP: Greenlandiano a 11.703 anni BP, Northgrippiano a 8236 anni BP e Meghalayano a 4250 anni BP (Walker et al., 2018). Nell’Europa occidentale l’Olocene viene suddiviso in una serie di Stadi Regionali bene definiti su base pollinica, noti come Preboreale, Boreale, Atlantico, Subboreale e Subatlantico.

Una nuova serie in corso di definizione è quella dell’Antropocene, periodo che sta caratterizzando l’umanità e il suo crescente impatto sul pianeta (Waters et al., 2016). Il suo limite inferiore è in corso di discussione e potrebbe coincidere con l’inizio della Rivoluzione industriale, con la data dei primi esperimenti atomici, oppure con la massiccia immissione nell’ambiente della microplastica o di altri prodotti artificiali.

**Principali aspetti climatico-ambientali**

Il record climatico completo del Quaternario è registrato con continuità solo nei sedimenti di mare profondo e nei foraminiferi fossili che li contengono. La successione biostratigrafica di questi organismi e la variazione del tasso di frazionamento degli isotopi stabili dell’ossigeno (18O/16O, noto come δ18O, riportato in ‰ rispetto a uno standard attuale), sono state costruite grazie all’analisi dei resti scheletrici di questi organismi bentonici e planctonici campionati da numerosi carotaggi (57 in totale) distribuiti su scala globale (Lisiecki e Raymo, 2005). Come dimostrato da N. Shackleton e colleghi (Hays et al., 1976), le variazioni di δ18O nei foraminiferi bentonici sono espressione della corrispondente variazione del volume globale dei ghiacci e delle conseguenti variazioni del livello marino.

I diagrammi isotopici indicano che nel corso degli ultimi 2,6 Ma si sono manifestati 52 periodi climatici freddi e caldi, spesso riferibili a periodi glaciali e interglaciali (Suggate, 1965), la cui frequenza è legata agli effetti prodotti dalle variazioni di determinati parametri astronomici (identificati negli anni ’30 dal matematico M. Milankovich): obliquità dell’asse di rotazione terrestre (ogni 41mila anni), precessione degli equinozi (ogni 26mila anni), eccentricità dell’orbita terrestre (ogni 92mila anni). Queste oscillazioni producono delle variazioni nell’irraggiamento solare e nella durata delle stagioni con ripercussioni sul bilancio energetico dell’atmosfera e dell’idrosfera (Imbrie e Imbrie, 1980), favorendo l’espansione e la contrazione delle masse glaciali. Diversi record stratigrafici permettono di distinguere con nitidezza numerosi cicli individuali, soprattutto quelli più recenti. Al contrario, nelle sequenze più antiche, il minore grado di risoluzione cronologica non permette di apprezzare le variazioni climatiche minori all’interno dei cicli principali.

Il record isotopico marino attesta l’affermazione dei cicli climatici lunghi (ogni 100mila anni) su quelli più brevi (ogni 41mila anni) nel corso del Pleistocene medio. La temperatura superficiale dell'acqua oceanica durante i massimi glaciali era di 4-5 °C inferiore a quella attuale, tranne che per le acque tropicali, le cui variazioni erano molto più contenute, con valori medi simili all’attuale. Durante gli interglaciali, la temperatura media era di 1-2 °C superiore a quella attuale.

Per quanto riguarda il record continentale, l’analisi del ghiaccio fossile conservato nelle calotte dell’Antartide, della Groenlandia e di zone minori, consente di esaminare con precisione sempre maggiore le variazioni della temperatura superficiale dell’aria, del tenore in metano e in anidride carbonica, del tasso di pulviscolo nell’atmosfera. Grazie al conteggio dei livelli di incremento annuale del ghiaccio, questi dati contribuiscono alla costruzione di modelli climatici con elevata risoluzione cronologica. Tra i numerosi carotaggi eseguiti alle estreme altitudini, va segnalato EPICA, sostenuto da un ambizioso programma dell’Unione Europea (https://www.beyondepica.eu/en/).

A differenza dei depositi glaciali fossili, gli altri depositi continentali, per quanto di elevata risoluzione temporale (es. varve lacustri, livelli incrementali degli speleotemi, depositi torbosi), sono affetti da ampie discontinuità che rendono problematica la ricostruzione dettagliata delle successioni glaciale-interglaciale. Un tipico caso è quello della cronologia alpina, cioè il sistema delle glaciazioni Günz, Mindel, Riss e Würm per lungo tempo considerato tra i principali riferimenti della variabilità climatica del Quaternario. Il quadro del Quaternario continentale viene complicato anche da un marcato regionalismo legato alle specifiche caratteristiche ecologiche, tettoniche e climatiche delle diverse aree geografiche. Per questo motivo, archivi del paleoclima quali gli speleotemi, le varve lacustri o gli anelli arborei ad incremento annuale devono essere rapportati al record globale oceanico o glaciale. Sequenze di lunga durata e meno discontinue sono rappresentate dai sedimenti di bacino lacustre e dai loess. I sedimenti lacustri presentano il vantaggio di fornire proxy paleoecologici e paleoclimatici ad elevata risoluzione cronologica, grazie anche ai sedimenti a varve e al polline fossile. I loess vengono relazionati all’espansione delle masse glaciali, quando la circolazione atmosferica favoriva il trasporto di grandi quantità di sedimenti fini e il loro accumulo sui continenti, soprattutto in Nordamerica, Nordeuropa e Cina. Infine, l’analisi dei paleosuoli permette di relazionare l’attivazione dei processi pedogenetici alle condizioni climatico-ecologiche favorevoli di un interglaciale o di un interstadiale del Pleistocene.

**Bibliografia**

Aguirre E, Pasini G. The Pliocene-Pleistocene boundary. Episodes 8: 116-120 (1985).

Channell JET, Hodell DA, Curtis JH. Relative paleointensity (RPI) and oxygen isotope stratigraphy at IODP site U1308: north Atlantic RPI stack for 1.2–2.2 Ma (NARPI-2200) and age of the Olduvai subchron. Quat. Sci. Rev. 131: 1-19 (2016).

Cita MB. Summary of Italian marine stages of the Quaternary. Episodes 31: 251-254 (2008).

Cohen KM, Gibbard PL. Global chronostratigraphical correlation table for the last 2.7 million years, version 2019 QI-500. Quaternary International, 20-31 (2019).

Ding ZL, Derbyshire E, Yang SL, Sun JM, Liu TS. Stepwise expansion of desert environment across northern China in the past 3.5 Ma and implications for monsoon evolution. Earth Planet. Sci. Lett. 237: 45-55 (2005).

Gibbard PL, Head MJ. The newly-ratified definition of the Quaternary System/Period and redefinition of the Pleistocene Series/Epoch, and comparison of proposals advanced prior to formal ratification. Episodes 33: 152-158 (2010).

Gibbard PL, Head MJ, Walker MJ. Formal ratification of the quaternary System/Period and the Pleistocene series/epoch with a base at 2.58 Ma. J. Quat. Sci. 25: 96-102 (2010).

Hays JD, Imbrie J, Shackleton NJ. "Variations in the Earth's Orbit: Pacemaker of the Ice Ages". Science. 194 (4270): 1121-1132 (1976).

Head MJ, Gibbard PL. Early-Middle Pleistocene transitions: an overview and recommendation for the defining boundary. In “Early-Middle Pleistocene Transitions: the Land-Ocean Evidence” Head MJ, Gibbard PL Editors vol. 247 Geological Society of London, Special Publication. p 1-18 (2005).

Head MJ, Gibbard PL. Formal subdivision of the Quaternary System/Period: past, present, and future. Quat. Int. 383: 1-32 (2015).

Head MJ, Pillans B, Farquhar SA. The Early-Middle Pleistocene transition: characterization and a proposed guide for the defining boundary. Episodes 31: 234-238 (2008).

Hoek WZ. The last glacial-interglacial transition. Episodes 31: 226-229 (2008).

Imbrie J, Imbrie JZ. Modeling the climatic response to orbital variations. Science 207: 943-953 (1980).

Lisiecki LE, Raymo ME. A plio-pleistocene stack of 57 globally distributed benthic δ18O records. Paleoceanography 20 PA1003, 17 p (2005).

Litt T, Gibbard PL. A proposed global stratotype section and point (GSSP) for the base of the upper (late) Pleistocene subseries (quaternary System/Period). Episodes 31: 260-261 (2008).

Medina-Elizalde M. A global compilation of coral sea-level benchmarks: implications and new challenges. Earth Planet. Sci. Lett. 362: 310-318 (2013).

NEEM community members. Eemian interglacial reconstructed from a Greenland folded ice core. Nature 493: 489-494 (2013).

Rasmussen, S.O., Andersen, K.K., Scensson, A.M., Steffensen, J.P., Vinther, B.M., Clausen, H.B., Siggaard-Andersen, M.-L., Johnsen, S.J., Larsen, L.B., Dahl-Jensen, D., Bigler, M., Röthlisberger, R., Fischer, H., Goto-Azuma, K., Hansson, M.E., Ruth, U. A new Greenland ice core chronology for the last glacial termination. J. Geophys. Res. 111 D06102 (2006).

Rasmussen SO, Bigler M, Blockley SP, Blunier T, Buchardt SL, Clausen HB, Cvijanovic I, Dahl-Jensen D, Johnsen SJ, Fischer H, Gkinis V. A stratigraphic framework for abrupt climatic changes during the Last Glacial period based on three synchronized Greenland ice-core records: refining and extending the INTIMATE event stratigraphy. Quat. Sci. Rev. 106: 14-28 (2014).

Richmond GM. The INQUA-approved provisional Lower-Middle Pleistocene boundary. In “The Early Middle Pleistocene in Europe.” Turner C Editor 1996 Balkema, Rotterdam. p 319-326 (1996).

Rio D, Sprovieri R, Castradori D, Di Stefano E. The Gelasian Stage (Upper Pliocene): a new unit of the global standard chronostratigraphic scale. Episodes 91: 82-87 (1998).

Shackleton NJ, Sánchez-Goñi MF, Pailler D, Lancelot Y. Marine Isotope Substage 5e and the Eemian Interglacial. Glob. Planet. Chang. 36: 151-155 (2003).

Siddall M, Rohling EJ, Almogi-Labin A, Hemleben C, Meischner D, Schmelzer I, Smeed DA. Sea-level fluctuations during the last glacial cycle. Nature 423: 853-858 (2003).

Suggate RP. The definition of "interglacial". J. Geol. 73: 619-626 (1965).

Walker M, Johnsen S, Rasmussen SO, Popp T, Steffensen J-P, Gibbard P, Hoek W, Lowe J, Andrews J, Bjorck S, Cwynar LC, Hughen K, Kershaw P, Kromer B, Litt T, Lowe DJ, Nakagawa T, Newnham R, Schwander J. Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core and selected auxiliary records. J. Quat. Sci. 24: 3-17 (2009).

Walker MJ, Berkelhammer M, Björck S, Cwynar LC, Fisher DA, Long AJ, Lowe JJ, Newnham RM, Rasmussen SO, Weiss H. Formal subdivision of the Holocene series/epoch: a discussion paper by a working group of INTIMATE (integration of ice-core, marine and terrestrial records) and the subcommission on quaternary stratigraphy (international commission on stratigraphy). J. Quat. Sci. 27: 649-659 (2012).

Walker M, Head MH, Berklehammer M, Bjorck S, Cheng H, Cwynar L, Fisher D, Gkinis V, Long A, Lowe J, Newnham R. Formal ratification of the subdivision of the Holocene series/epoch (quaternary System/Period): two new global boundary stratotype sections and points (GSSPs) and three new stages/subseries. Episodes 41: 213-223 (2018).

Waters CN, Zalasiewicz J, Summerhayes C, Barnosky AD, Poirier C, Gałuszka A, Cearreta A, Edgeworth M, Ellis EC, Ellis M, Jeandel C, Leinfelder R, McNeill JR, Richter DD, Steffen W, Syvitski J, Vidas D, Wagreich M, Williams M, Zhisheng A, Grinevald J, Odada E, Oreskes N, Wolfe AP. The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. Science 351, 6269: 137-148 (2016).

**Didascalie**

Figura 1. Tabella cronostratigrafica del Quaternario riportante la suddivisione formale ratificata dall’*International Commission on Stratigraphy* (ICS) dell’*International Union of Geological Sciences* (IUGS) e il posizionamento dei *Global Stratotype Section and Points* (GSSP) con aggiornamento al 2021. In questa versione modificata rispetto all’originale (Cohen e Gibbard 2019), sono riportati: la cronologia paleomagnetica con indicazione dei Chrons e dei Subchrons (e degli eventi ed escursioni); gli Stadi del Quaternario Marino definiti in Italia e validi per il bacino del Mediterraneo; gli Stadi (e Sottostadi) Isotopici Marini con la numerazione dispari per gli interglaciali e pari per i glaciali; la curva del frazionamento degli isotopi dell’Ossigeno (δ18O) costruita sulla combinazione dei dati prodotti dall’analisi dei foraminiferi bentonici di 57 carotaggi di fondo oceanico (sono indicate le Terminazioni dalla VII alla I dei glaciali a partire dal MIS16, le posizioni della *Mid Pleistocene Revolution*, del *Penultimate Glacial Maximum* – PGM e del *Last Glacial Maximum* – LGM); l’alternanza tra i cicli di sedimentazione e pedogenesi registrata nei loess (L) della Cina, evidenziata dalla variazione del valore della suscettività magnetica (un proxy per identificare i suoli da S32 a S0, che vengono correlati agli interglaciali). È indicata la posizione della Figura 2.

Figura 2. Tabella cronostratigrafica ad elevata risoluzione per gli ultimi 50.000 anni (fino al presente inteso come anno 1950 *Common Era* – CE) modificata rispetto all’originale (Cohen e Gibbard 2019). Sono riportati: la curva del frazionamento degli isotopi dell’Ossigeno (δ18O) costruita sull’analisi dei foraminiferi bentonici del carotaggio MD95-2042 di fondo del Nord Atlantico (sono indicate le posizioni cronologiche degli eventi di raffreddamento noti come Eventi Heinrich – HE, i limiti dell’Ultimo Massimo Glaciale – LGM basati su Lambeck et al. 2014, e la data dell’avanzamento dei fronti dei ghiacciai alpini); le date dell’inizio del MIS2 e del MIS1; la curva dei valori della (δ18O) costruita sull’analisi del ghiaccio fossile groenlandese e la sequenza di stadi e interstadi numerati a partire dai più recenti (Greenland Stadial 1 - GS1 e Greenland Interstadial 1 – GI1 rispettivamente) con indicazione degli sottostadi e dell’età calendario dei GI8, GI2 e GI1 (Rasmussen et al., 2014); lo schema di suddivisione regionale valido per l’Europa occidentale.