

La cartografia a raggio variabile – nascita e prospettive di una disciplina sperimentale

Giancarlo Scalera
INGV (Senior Researcher, retired)

1 - INTRODUZIONE

L'ipotesi dell'espansione della Terra ha tra i suoi maggiori meriti quello di tener lontano le scienze della Terra dalla subordinazione a Fisica e Cosmologia. Una Terra che si espande suggerisce infatti che la nostra conoscenza del mondo fisico debba partire dal corpo celeste di cui abbiamo esperienza diretta, utilizzando come oggetto di indagine ciò che sta sotto i nostri piedi, piuttosto che dedurre proprietà del nostro pianeta da principi cosmologici peraltro ancora incerti. Importante sua conseguenza, come mostrerò, è di aver prodotto l'evoluzione della cartografia in scienza sperimentale. È infine portatrice di una speranza, o certezza, che nel futuro Fisica Fondamentale e Scienze della Terra si sostengano a vicenda percorrendo una via comune.

L'idea di cambiamenti significativi nelle dimensioni del nostro pianeta non ha avuto parte nella cultura scientifico-filosofica prima della seconda metà del XIX° secolo, quando furono proposte le prime idee di espansione terrestre. In precedenza c'erano solo vaghe allusioni e dispute accademiche sulla nostra incapacità di accorgerci di eventuali cambiamenti generali di scala (Nicola Oresme, 1323-1382; in Scalera, 1999), o inconsapevole realizzazione di mappe del mondo in cui il raggio della Terra era diverso dal reale (ad esempio quella inviata a Colombo da Paolo del Pozzo Toscanelli, 1397-1482; Chiarelli et al., 1992), senza alcun seguito pratico nel campo tecnico della cartografia. Solo qualche antica narrazione in tal senso proviene dai miti – pur sempre primitive riflessioni filosofiche – dei popoli circum-mediterranei, che alternativamente descrivono favolose espansioni della Terra (o del territorio; nell'*Avesta-Vendidad* del popolo Parsi Zoroastriano) o contrazioni e implosioni del pianeta (nei miti etiopici, ricordati ne *Della Retorica – Dieci Dialoghi* di Francesco Patrizio da Cherso, 1529-1597).

2 - ESSENZIALI PROGRESSI NEI SECOLI SCORSI

La nascita e i progressi della *expanding Earth* e della sua cartografia furono preceduti dalle prime idee sugli spostamenti continentali che risalgono almeno a Abraham Ortelius (Ortelius, 1527-1598), Francis Bacon (1561-1626), René Descartes (1596-1650), François Placet (1666), Thomas Burnet (1635-1715), e Theodor Christoph Lilienthal (1717-1781).

Queste prime idee mobilistiche, espresse in brevi spunti, si precisarono ancor più nell'800. Nel 1838 Thomas Dick (1774-1857), teologo e filosofo americano, fu colpito dalla

"striking correspondence between two sides of the two continents to which we have adverted" [Africa, Sud America], e dal fatto che *"prominent parts of the one corresponding to the indentings of the other."* In modo del tutto analogo argomentò anche Alexander von Humboldt (1769-1859) nel 1801 e nel 1845, seguito nel 1858 dal famoso libro di Antonio Snider-Pellegrini (1802-1885), con le sue due mappe rappresentanti il prima e il dopo dell'apertura dell'Atlantico.

Richard Owen (1810-1890)

Non è difficile immaginare quanto importanti influenze ebbero i precedenti contributi sulla germinazione dell'ipotesi di una espansione globale del nostro pianeta nel XIX° secolo. Ma per quanto riguarda la cartografia a raggio variabile deve essere ricordato solo il nome di Richard Owen (1810-1890), un chimico e geologo americano. Nel suo libro del 1857 *Key to the geology of the globe* egli definì la sua "Geologia Anatomica", dove i pianeti e tutti i corpi celesti crescevano come esseri viventi con tutte le fasi del loro sviluppo, dall'uovo alla vetustà. Il libro conteneva la mappa che costituisce il primo tentativo di esercizio cartografico a raggio variabile, con la strana caratteristica (che mai più si ritrova nella storia della geologia) di un intero continente, il Sud America, sovrapposto inizialmente ad un altro, l'Africa, e in seguito scivolato verso la sua posizione attuale con l'interposizione dell'Atlantico. Oggi giudicheremmo giustamente improponibile una simile soluzione, ma l'esercizio cartografico di Owen deve essere ricordato per aver raffigurato per la prima volta la Terra con un raggio valutabile intorno ai 4000 km (Fig. 1).

Nessun altro tentativo di rappresentazione cartografica a raggio minore si trova nelle pubblicazioni degli autori che sul finir del secolo XIX° difesero l'espansione terrestre. Nessuna mappa fu infatti tracciata dall'ingegnere russo-polacco Ivan Osipovich Yarkowsky (1844-1902) (1888; Beekman, 2005) né dal musicista-geologo Roberto Mantovani (1854-1933) (1889; Scalera 1999, 2009).

3 – ESPERIMENTI ALL'INIZIO DEL XX° SECOLO

Oltre all'influenza del fertile clima culturale dell'800, a partire dal 1912 esercitò una propulsione ideale su ciò che accadde in seguito la pubblicazione della teoria degli spostamenti continentali di Alfred Wegener (1880-1930) in vari articoli e poi in successive edizioni del suo libro (Wegener, 1912a, 1912b, 1915-1936). Grande fonte di ispirazione per gli stessi espansionisti fu la successione di tre mappe paleogeografiche (Primo Carboniferous, Eocene, Tardo Quaternario) tracciate da Wegener. L'unico tra loro a non aver tratto ispirazione dall'elaborato wegeneriano fu Roberto Mantovani, che anzi rivendicò, in una corrispondenza con il meteorologo tedesco, la sua priorità per aver pubblicato già nel 1909, su una rivista francese, analoghe mappe della frammentazione di un supercontinente (Scalera, 2009). Ma le mappe di Mantovani non erano ancora cartografia a raggio variabile.

Joh. A.H. Kerkhoff

La prima vera cartografia su globi a raggio variabile è quella contenuta nel libro del 1928 *Het Maanproblem: Opgelost*, dell'olandese J.A.H. Kerkhoff (sotto lo pseudonimo Aero-Dilettant). Accanto ad una originale ipotesi sull'origine della Luna come frammento della Terra eiettato in seguito ad una collisione con una cometa, il libro documentava con delle foto il risultato dell'esperimento cartografico di Kerkhoff. Egli aveva ricalcato i contorni dei continenti da un globo, stirato i corrugamenti delle catene montuose, e dimostrato che si otteneva una buona ricostruzione (senza oceani) del loro mosaico su un globo ligneo di raggio $r \approx 0.6$ del raggio iniziale (Fig. 2a).

Le ricostruzioni dell'olandese non erano sostenute da una tecnica cartografica rigorosa ed il presupposto di una espulsione di un vasto frammento di emisfero Pacifico potrebbe aver avuto riflessi sulle risultanti posizioni reciproche dei continenti, ma il Mediterraneo appariva correttamente chiuso, con l'estremità meridionale della penisola italiana a contatto con la Libia. Il libro e la sua copertina (una cometa che impatta la Terra) può dare erronea impressione di una vaga visionarietà, e come tale alcuni antiquari lo classificano "crank astronomy". In realtà esso ha una grande importanza nella storia della cartografia contenendo il primo esempio di paleogeografia ricostruita con gli strumenti dell'epoca su globi di dimensioni minori, e certamente la strada aperta da Kerkhoff è stata seguita da molti altri.

Ott Christofer Hilgenberg (1896-1976) e gli altri

Il berlinese O.C. Hilgenberg iniziò i suoi esperimenti cartografici presumibilmente nel 1930, e non si può escludere fosse a conoscenza dei risultati dei suoi colleghi expansionisti europei e forse anche del libro di Richard Owen che avrebbe potuto leggere in gioventù durante un suo lungo viaggio di lavoro come geologo petrolifero negli USA. Pur non riuscendo per motivi politici ad ottenere una cattedra nella Università Tecnica di Berlino, lavorò sempre come assistente al suo interno, riuscendo così a dare un respiro di maggiore continuità e consapevolezza scientifica al suo lavoro che si protrasse fino agli anni '70. Nonostante la notorietà dei suoi globi (Fig. 2b), le cui foto sono in copertina del suo saggio del 1933 *Vom wachsenden Erdball* (dedicato a Wegener!), egli non fu solo un *globe-maker* ma un vero e completo scienziato che corroborò la sue ricerche usando tutti i dati (geologici, paleontologici, paleomagnetici, etc.) disponibili ai suoi tempi.

La sua metodologia di ricostruzione è semplice ed efficace. Le sagome dei continenti ricalcate da un globo di riferimento vengono adattate ed accostate su globi di raggio minore. Al contrario di Kerkhoff le catene montuose vengono tagliate via, interpretandole come zone di espansione. Il metodo equivale ad applicare una trasformazione cartografica equidistante. In figura 3b, è riprodotto un suo ulteriore esperimento degli anni '60 dove si ricostruiva la paleogeografia globale del Carbonifero (359-298 Ma) con l'aiuto dei dati dei paleopoli allora pubblicati (Hilgenberg, 1965).

Un altro sperimentatore cartografico fu il russo Ivan Vasilievic Kirillov (1909-2004) che per molti anni fino al pensionamento fu direttore di un Laboratorio di Modellazione Navale. Sostenitore della *expanding Earth* fin dal 1949, la sua abilità di modellatore lo portò naturalmente a costruire globi paleogeografici a raggio minore con l'ausilio di dati paleomagnetici. I globi sono stati recentemente esposti a Mosca presso il Museo Geologico

Ershov (Fig. 2c) che attualmente li conserva. Kirillov dal 1970, come molti espansionisti, si interessò alla causa della gravitazione sulla strada percorsa dal matematico svizzero Nicolas Fatio de Duillier (1664-1753), dal fisico suo connazionale Georges-Louis Le Sage (1724-1803), dall'ingegnere russo-polacco Ivan Osipovich Yarkovsky (1844-1902) ed oggi da un numeroso gruppo di gravitisti (Edwards, 2002: *Pushing Gravity*).

Devono essere ricordate come notevole documento le quattro fotografie del globo paleogeografico di Ludwig Brösske (Fig. 2d) pubblicate nel suo libro del 1962 *Wachst die Erde mit Naturkatastrophen? Die "Expansions-Theorie"* così come i piccoli globi lignei di Cyril Barnett (1919-1970) pubblicati in brevi note su *Nature* nel 1962 e 1969. In questi anni un importante esperimento cartografico fu realizzato in Inghilterra dal geologo Ray Dearnley che su mappe globali di raggio minore dimostrò la continuità da un continente all'altro di antiche catene montuose e lineamenti geologici.

Pilotò forse il rinato interesse per le concezioni espansioniste la pubblicazione nel 1961 del *LIFE Pictorial Atlas* per il quale il famoso ed enciclopedico geologo australiano Rhodes Fairbridge (1914-2006) preparò una tavola con la paleogeografia globale a vari stadi di crescita del globo, desunti usando un palloncino gonfiabile. Tutti questi esperimenti cartografici, pur con i limiti della loro semplice metodologia basata essenzialmente su trasposizione di sagome continentali tra globi a raggio diverso, sono da considerarsi l'inizio di un nuovo periodo per la scienza cartografica, che da descrittiva divenne vero terreno sperimentale, ma occorre una precisione maggiore.

4 - LA CARTOGRAFIA SPERIMENTALE E I DATI PALEOMAGNETICI

Nuove possibilità si aprirono per la paleogeografia con la disponibilità dei dati paleomagnetici. Nel 1964 Kenneth Medworth Creer in Inghilterra usò questi dati per ricostruzioni paleogeografiche a raggio costante (Creer, 1964) e solo successivamente (Creer, 1965) eseguì un esperimento cartografico a raggio variabile usando come base il supercontinente che aveva già ricostruito. Creer lavorò riferendosi a una precisa isobata (500 fathoms, circa 914 m), e avrebbe dovuto adattare i frammenti continentali tracciati sulla sua sfera di perspex di partenza (raggio 50 cm) su una sfera di raggio 27 cm (pari a un raggio terrestre 55% dell'attuale). Decise per comodità di usare sempre sfere da 50 cm e di simulare le terre più piccole aumentando la dimensione dei continenti ritagliati in fibra di vetro di un fattore lineare $1/0.55 = 1.82$ (una effettiva proiezione equidistante). Nel suo articolo su *Nature* del 1965 concluse:

I have formed the impression that the fit of the continents on a smaller Earth illustrated in Figs. 1a and 2a appears too good to be due to coincidence and hence requires explaining. The simplest explanation appears to be expansion of the Earth, and one purpose of this article is to suggest that this hypothesis should be taken seriously.

Negli stessi anni anche Hilgenberg raffinò la sua ricerca e pubblicò dei lavori in cui faceva ampio uso dei paleopoli al suo tempo disponibili (Hilgenberg, 1962, 1965). In figura 3b è riprodotta la sua ricostruzione del Permiano dove le rette e i cerchietti sono le direzioni e posizioni dei poli. La mappa riproduce le latitudini intermedie in proiezione di Mercatore e le zone polari in proiezione azimutale.

I dati continuarono ad accumularsi e dopo quasi venti anni due ricercatori australiani del CSIRO (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*), Brian Embleton e Phil Schmidt, ripresero in mano la questione delle ricostruzioni su globi a raggio minore dell'attuale e conclusero che il comune percorso degli APW (apparent polar-wander dei paleopoli) per Africa, Australia, Groenlandia, e Nord America, indicava che questi continenti nel Proterozoico, ad un raggio terrestre circa la metà del moderno (Fig. 3c), occupavano la stessa posizione reciproca di oggi (Embleton & Schmidt, 1979). Questa osservazione era quindi compatibile con una Terra in espansione e ne costituiva evidenza favorevole.

Tuttavia, ciò che ha reso diversa la cartografia sperimentale degli ultimi decenni del XX secolo, è stata la disponibilità dei dati delle campagne per la misura delle anomalie magnetiche del fondale oceanico ed i dati geocronologici correlati. Man mano che le navi oceanografiche eseguivano fitte misure del magnetismo delle rocce dei fondi marini, si capì che sui due lati delle dorsali medioceaniche esistevano serie di fasce di rocce grosso modo parallele alle dorsali stesse e con magnetizzazione alternativamente positiva e negativa. Si interpretò questa distribuzione come risultato della espansione dei fondali per effetto della emissione di nuovi materiali fusi al centro delle dorsali e del loro successivo raffreddamento che conservava la magnetizzazione del campo geomagnetico dell'epoca. L'inversione aperiodica del campo magnetico terrestre produceva l'alternanza delle fasce osservate. Fu così corroborato sia il mobilismo di Wegener che la *expanding Earth*, che in questo periodo convissero e si fronteggiarono fino alla nascita e affermazione del nuovo paradigma della *plate tectonics*. Tutte queste informazioni sulle anomalie magnetiche lineari e sulla età dei fondali divennero presto oggetto di importanti opere di sintesi, come la mappa *Identified Magnetic Sea-Floor Spreading Anomalies* compilata da Roeser & Rilat (1982), e la mappa *The Bedrock Geology of the World* (età fondo marino) di Larson et al. (1985). Ma grandemente ammirata per il suo splendore fu la mappa fisiografica dei fondali *World Ocean Floor* frutto dei dati oceanografici raccolti da Bruce Heezen ed elaborati da Marie Tharp negli anni '70. Nella fase finale della compilazione della mappa, il tocco artistico che ancora la rende unica – ed imitata – fu dato dal pittore austriaco Heinrich Caesar Berann di Innsbruck. Heezen era un espansionista e si può dire che questo planisfero sia una specie di testamento culturale da lui lasciatoci, in cui la storia della espansione terrestre è come impressa nei lineamenti dei fondali oceanici. Io stesso ne ho subito l'influenza e i miei primi esperimenti furono eseguiti con sagome dei continenti ritagliate da fotocopie della mappa di Heezen & Tharp.

Il valore dei nuovi dati per le ricostruzioni paleogeografiche fu subito palese a molti. Bastava eliminare dalle mappe relative a una determinata epoca del passato tutte le fasce di fondale più giovani di quell'epoca e riaccostare i continenti usando come distanziatori tra essi le fasce più antiche. Fece suo questo metodo Hugh Owen, geologo e paleontologo del Natural History Museum di Londra, che fra gli anni '70 e '80 portò a compimento una delle opere più raffinate e complete di cartografia non convenzionale mai eseguita con i metodi della cartografia classica (Fig. 4). I fabbricanti di globi geografici usano suddividere la superficie terrestre in una dozzina di fusi di 30° di longitudine – da incollare sulla sfera – usando la cosiddetta proiezione interrotta sinusoidale, che consente di minimizzare le distorsioni cartografiche. Owen voleva anch'egli minimizzare le distorsioni e divise la

superficie del globo in ben 36 fusi di 10° (Fig. 4b), da ciascuno dei quali ricavò 18 trapezoidi $10^\circ \times 10^\circ$ per un totale di 648 frammenti di geografia. Con una complessa procedura egli calcolava la deformazione da applicare a ciascun trapezoide quando veniva ricollocato nel reticolato di una prescelta proiezione cartografica.

Owen in una fase preparatoria del suo lavoro verificò che le ricostruzioni delle posizioni dei continenti su raggi del globo minori dell'80% dell'attuale soffrivano di sovrapposizioni che la sua metodologia non consentiva di risolvere (anche i continenti dovevano in parte essere contratti nelle epoche passate, ma per la terraferma non esistevano 'righelli' affidabili come lo erano per gli oceani le anomalie magnetiche). Partì quindi per il suo lavoro definitivo dal Giurassico Inferiore (180 My, $r = 0.80 \times R_T$), per poi ricostruire il Cretaceo Inferiore (Hauteriviano, 120 My, $r = 0.87 \times R_T$), il Cretaceo Medio-Superiore (Turoniano, 90 My, $r = 0.90 \times R_T$), il Terziario inferiore (Palaeocene, 60 My, $r = 0.93 \times R_T$), il Terziario Medio (Oligocene, 30 My, $r = 0.97 \times R_T$), e il Recente (Owen, 1976, *Philosophic Transaction of the Royal Society of London*). L'oceano Pacifico di Owen non è mai completamente chiuso perchè per lui è realmente in atto il processo geologico della subduzione, che comunque significa un bilancio crostale, per una Terra che si espande, a favore di una creazione di crosta alle dorsali maggiore della sua distruzione per subduzione ai margini attivi. In questo suo primo 'Atlante' adottò la proiezione Zenitale equidistante, ma per i planisferi regionali (Atlantico, Indiano, ecc.) fu sviluppata una nuova proiezione, la Proiezione Triazimutale per rappresentare contemporaneamente sulla stessa mappa le zone polari e quella equatoriale.

Il secondo importante lavoro di Owen, più complesso ed accurato, fu il suo famoso *Atlas of continental displacement, 200 million years to the present*, stampato nel 1981 dalla Cambridge University Press. Con l'aggiunta dell'Oxfordiano (146 My, $r = 0.84 \times R_T$) le epoche ricostruite divennero sette e furono adottate diverse proiezioni cartografiche secondo le necessità dei diversi capitoli dell'opera. Un non secondario scopo dell'autore era di fornire una serie di mappe ai paleontologi, al fine di verificare l'eventuale continuità e validità delle distribuzioni fossili su una Terra in espansione. Così, al fine di permettere il confronto tra teorie concorrenti, insieme alle mappe delle ricostruzioni a raggio minore (Fig. 4ac), furono elaborate anche le ricostruzioni adottando il raggio attuale. Con questo approccio liberale, non estremista e aperto a importanti aspetti delle concezioni del paradigma maggioritario – la subduzione, ad esempio –, l'influenza dell'*Atlas* di Owen è stata significativa.

In questa storia di fine secolo ebbero un degno ritorno i costruttori di globi Klaus Vogel a Werdau in Germania e James Maxlow a Brisbane in Australia. Ambedue hanno usato anche i dati di geologia dei continenti, adottando la antica tecnica del collage, più o meno attualizzata. Per l'ingegnere Klaus Vogel la *expanding Earth* è stata una occupazione amatoriale portata ben presto a ottimi livelli e grande diffusione internazionale. I suoi tipici 'Globi nel Globo' (Fig. 5a) si trovavano esposti nello studio di Samuel Warren Carey all'Università di Hobart in Tasmania, e in differenti versioni sono stati recentemente in mostra a Mosca e in Polonia a Wrocław. Pochi anni fa la Municipalità di Werdau, come riconoscimento della sua infaticabile attività di *globe-maker* e propagandista della Terra in espansione, ha coniato in suo onore una medaglia (Fig. 5a). Invece il geologo Jim Maxlow è stato studente di Carey laureandosi con una tesi sulla espansione terrestre. Egli ha

elaborato un metodo ibrido fisico-digitale di ricostruzione paleogeografica (Fig. 5b) che parte dal planisfero della carta geologica globale edita dall'UNESCO, digitalizzata e trasformata in 24 fusi (in proiezione interrotta sinusoidale) per minimizzarne le distorsioni (Fig. 5b). Come a suo tempo fece Creer, i globi di polistirolo di Maxlow sono tutti dello stesso diametro fisico di 30 cm, e la 'terrella' di raggio minore viene ottenuta stampando i fusi a una scala più grande. Quindi i fusi, o frammenti di essi – orientati con l'aiuto delle direzioni dei paleopoli –, vengono incollati sul globo e il collage rifinito graficamente. Infine il globo è fotografato e l'immagine viene ridotta di scala rispetto al globo geografico attuale, ottenendo le serie di globi 'in espansione' di cui una serie è riprodotta in basso in Fig. 5c.

Tutti questi metodi di cartografia sperimentale classici o semi-classici producono risultati importanti sia scientificamente che artisticamente, presentandosi come oggetti 2D o 3D, fisici o virtuali, di notevole bellezza. Il loro pregio estetico è grande quanto il loro limite costituito da una grande lentezza di realizzazione del manufatto, difficile da correggere in corso d'opera o a sua conclusione. Solo l'avvento dei calcolatori elettronici, della loro sempre più elevata velocità e capienza delle memorie di massa, ha permesso di superare questi problemi della cartografia classica.

5 -- L'ERA DIGITALE

Nell'ambito delle concezioni e ricostruzioni a raggio costante, l'era digitale fu inaugurata da Smith e Hallam nel 1970 con la pubblicazione su *Nature* dell'articolo *The Fit of the Southern Continents* e delle polemiche che ne seguirono. Molti, come il grande geofisico inglese Harold Jeffreys, continuavano a non credere che l'incastro tra Africa e Sud America fosse davvero convincente, adducendo la possibile influenza, nel processo di ricostruzione, delle distorsioni cartografiche. Il propugnatore più attivo della *expanding Earth*, Samuel Warren Carey in Australia, per rispondere a tali critiche allestì ad Hobart un esperimento che per accostare Africa, Europa ed Americhe faceva uso di fogli sferici posati su una grande semisfera di pari raggio. I continenti, ciascuno tracciato su un foglio translucido distinto furono accostati nella completa assenza di distorsioni, confermando senza più alcun dubbio l'esistenza di un antico supercontinente.

Carey non era comunque un cartografo, ed era in cerca di chi potesse progredire su questa strada ricostruendo la paleogeografia su globi più piccoli. Fra la fine degli anni '70 e inizio del decennio successivo eravamo in tre ad iniziare a coltivare questa disciplina e non casualmente tutti e tre entrammo in contatto con lui. Ken Perry, un geologo statunitense, fu forse il primo a inviargli le proprie elaborazioni di digital mapping a raggio variabile, suscitando l'interesse di Carey che nei decenni successivi pubblicò una figura di Perry, l'espansione dell'Atlantico su un globo in espansione, in alcuni suoi lavori di rassegna. Questa fu la sola forma di pubblicazione per Perry che non riuscì a uscire dall'isolamento in cui si trovò negli U.S.A. dove dilagava l'entusiasmo accademico per la *plate tectonics*, e in breve dovette risolversi a procurarsi i mezzi di sostentamento creando una piccola ditta di servizi cartografici convenzionali, non occupandosi più di Terra in espansione. Klaus Vogel ebbe l'onore come me di essere invitato per un periodo di studio e ricerca in Australia ad Hobart (in periodi diversi) dove approfondì le sue conoscenze di

geologia. Io portai con me una versione iniziale di un mio programma Fortran di ricostruzione paleogeografiche e continuai laggiù a svilupparlo.

Nella cartografia convenzionale, a raggio costante, riportare su mappe i paleopoli dei continenti alla deriva non è un problema che va oltre le necessarie lunghe procedure che consistono nel proiettare il continente su un piano tangente a un prescelto centro di proiezione, spostare questo piano tangente su un altro centro di proiezione, eventualmente ruotarlo, ed eseguire la proiezione inversa sulla sfera. In questo caso i paleopoli e i loro siti di misura si spostano rigidamente insieme al continente di appartenenza, come qualsiasi altro suo profilo geografico, fiumi, strade o linee di confine.

Nel caso invece della Terra in espansione, avviene come una rottura di una simmetria. Ricostruire la mutua posizione dei continenti nel passato significa ora eseguire la proiezione inversa su una sfera di raggio minore, usando una proiezione equidistante oppure una equiarea. I paleopoli invece seguono una legge diversa: nel riportarli da una sfera all'altra si deve mantenere costante l'angolo al centro del pianeta. Questo sembra strano a prima vista, ma può essere facilmente compreso riflettendo sul fatto che un ipotetico osservatore situato all'equatore, vede il polo nord sempre a 90° di distanza angolare rispetto al geocentro, qualsiasi dimensione assuma la sfera. In Fig. 6a è mostrato come i paleopoli e i loro oggetti vengono trasferiti tra globi di raggio diverso. La applicazione di due leggi di trasformazione diverse fa sì che i paleopoli coincidenti osservati da diverse locazioni sul frammento continentale, si allontanano tra loro disperdendosi in tipiche configurazioni. La 'saldatura' tra le due leggi di trasformazione sul sito di osservazione è ottenuta con procedure iterative che valutano anche la deformazione della placca continentale e la conseguente nuova orientazione dell'oggetto sito-polo. Sebbene non ci sia garanzia che la crosta o la litosfera terrestre si deformino esattamente secondo il modello adottato (non sono pellicole sottili né immuni dal subire fratture e rotazioni locali) il metodo fornisce quanto meno la orientazione e la distanza approssimativa dei continenti rispetto al polo nord consentendo di ricostruire la paleogeografia a qualsiasi epoca e raggio della Terra.

Il metodo cartografico computerizzato ha il vantaggio, rispetto ai costruttori di globi o al pur rigoroso metodo classico di Hugh Owen, di consentire 'esperimenti' in modo rapidissimo. Realizzare un globo o una mappa classica è una impresa artigianale, che una volta conclusa non è modificabile se non dopo ponderata e 'dolorosa' decisione, assai simile ai ripensamenti nei dipinti degli artisti figurativi. Il realizzatore deve avere in mente bene il risultato che si aspetta di ottenere, sperando di non dover apportare che minime correzioni finali. Invece far girare un codice Fortran impiega solo pochi secondi e consente di verificare rapidamente configurazioni paleogeografiche molto differenti tra loro variando pochi parametri iniziali e conservando i diversi file grafici per un confronto ed una scelta successiva, o un raffinamento di uno di questi.

Come era già successo a Owen per i suoi *Atlas*, per poter giudicare la bontà di una ricostruzione (che facendo uso del computer può ora riportare facilmente anche selezioni di paleopoli utili al giudizio) accanto alle basse e medie latitudini bisognava tracciare sul piano, con distorsioni accettabili, anche le zone polari. In particolare sono importanti le calotte entro 30° dal polo, perché al loro interno si distribuiscono i paleopoli per effetto di errori di laboratorio, o rotazioni tettoniche locali, o per gli effetti dovuti ad un errato

raggio di ricostruzione (come in FIG. 6a, ii-v: poli ideali; Fig. 6b, in alto: paleopoli reali). Le soluzioni praticabili sono o una proiezione interrotta, come quella di Hilgenberg (FIG. 3b) che non è generalmente piacevole da guardare nel suo insieme, o una proiezione non dotata di specifiche proprietà (come la proprietà equiarea, o equidistante, o equiangolo, o lossodromica ecc.) ma utile allo scopo e piacevole allo sguardo, che viene detta *ortofanica*. La proiezione *ortofanica* che io sviluppai, è una Lambert equiarea modificata, che coincide con la vera Lambert entro un cerchio di 90° dal centro di proiezione, ed è progressivamente 'stirata' mediante polinomi al suo esterno, assumendo così una forma che ricorda i classici planisferi, con le zone circumpolari entrambe visibili e disponibili per la mappatura e la valutazione delle distribuzioni dei paleopoli (Fig. 6b, in alto la Lambert di partenza; Fig. 6b, in basso la modificata). È con questa proiezione che è stato possibile ricostruire con l'aiuto sia dei poli che delle fasce isocrone dei fondali l'aspetto della Terra in espansione (Fig. 6b) dal tempo della cosiddetta Rodinia (circa un miliardo di anni fa) sino ad una possibile configurazione in un tempo Futuro (circa fra 250 milioni di anni).

Molti altri esperimenti sono stati realizzati, che vanno ad accrescere il valore probatorio complessivo di questa disciplina in favore della espansione della Terra. Fra quelli più importanti c'è certamente la ricognizione di somiglianze di profili geografici a cavallo del Pacifico. Questo tipo di somiglianze, innegabili tra le opposte sponde dell'Atlantico, è stato considerato una evidenza fondamentale prima per la teoria della deriva dei continenti e successivamente per la tettonica delle zolle, ma invece, per diversi motivi, non sono mai state riconosciute nel Pacifico. Può darsi che questo sia dipeso da un fenomeno contemplato nella *psicologia della Gestalt*, per la quale l'apertura dell'oceano Atlantico da nord a sud (o da sud a nord) potrebbe aver creato una simile aspettativa che non poteva essere soddisfatta allo stesso modo per il Pacifico. Effetti di questa aspettativa si trovano in molti paleogeografi seguaci della espansione ma non armati di rigorosi metodi cartografici – a partire dalla mappa del Pacifico del violinista geologo Roberto Mantovani (1854-1933) che vorrebbe accostare la California alla Cina, per finire con recenti simili esercizi di moderni paleontologi (Scalera, 2007). La veloce esecuzione degli esperimenti cartografici computerizzati consente di verificare subito la incompatibilità della contemporanea chiusura nord-sud dell'Atlantico e del Pacifico. Diversamente dall'Atlantico infatti, sia a causa della maggiore estensione del Pacifico che degli effetti della maggiore curvatura del globo di raggio ridotto, il margine occidentale del Nord America non va a lambire le coste dell'Asia, ma va a coricarsi quasi equatorialmente.

Un altro più recente esperimento è stato quello di aver potuto mettere in relazione la paleogeografia della *expanding Earth* con il moto del polo delle ultime poche decine di milioni di anni. Il cosiddetto True Polar Wander (TPW), che individua con buona approssimazione la posizione del polo magnetico terrestre nel passato geologico, mostra un andamento che procede grosso modo dal Canada verso l'Asia, una stasi ai 50-40 Ma e il ritorno verso il Canada fino a ricollegarsi al moto del polo rilevato negli ultimi 150 anni con metodi astrogeodetici. Questo andamento con una cuspidè a 50-40Ma costituisce un vero 'segnale geofisico' che se non è interpretabile nella concezione della tettonica a zolle trova invece un senso preciso nella evoluzione della paleogeografia della *expanding Earth*, dove la zona di massima espansione del pianeta, oggi sulla placca di Nazca, apre l'oceano Pacifico migrando dall'emisfero settentrionale a quello meridionale. Secondo banali leggi

della meccanica razionale la stasi si verifica quando questa zona attraversa l'equatore intorno a 50 milioni di anni fa, seguita dall'inversione di rotta del TPW (per questi due esperimenti si veda mio articolo e figure sul *Giornale di Astronomia* 2010, n°3).

6 -- CONSIDERAZIONI FINALI

Si è cercato di far vedere, con una assolutamente non esaustiva rassegna storica, quanti progressi, e come, sono stati conseguiti nella cartografia una volta assunto il raggio terrestre come una variabile funzione del tempo geologico. Con l'uso della cartografia nell'ambito Terra in espansione, per questa antichissima disciplina è stato definito uno scopo nuovo e più profondo. Il successo nel ricostruire la paleogeografia su globi di raggio minore non è infatti solo un buon esperimento geologico, ma assume un nuovo e più generale significato. Questa volta i campi coinvolti non sono geologia, geodinamica, tettonica, ma suggestioni inevitabili sono forniti a fisica, astronomia, cosmologia – portando tutte queste discipline verso prospettive più dinamiche che nel passato, svelando l'incompletezza o l'inadeguatezza di molte concezioni attuali.

Voler ricostruire l'aspetto della Terra nel profondo passato, e verificare se queste ricostruzioni siano più coerenti, compatte, rispetto a quelle normalmente eseguite a raggio costante, ha portato questa disciplina, antica quanto l'astronomia, ad assumere caratteristiche di vera e propria scienza sperimentale. Non si trattava più infatti di riprodurre sulle mappe "l'esistente", ma di osare di più. Forti dell'insegnamento delle tecniche palinspastiche, applicate a sempre più grande scala per ricostruire l'antica giaciture di sconvolti strati geologici, ridistendere catene montuose e per riposizionare interi continenti, gli espansionisti andarono oltre. Non che i non espansionisti non abbiano eseguito esperimenti, sebbene senza implicazioni importanti per i fondamenti della fisica. Ironia della sorte, il più famoso degli espansionisti, Samuel Warren Carey, si sentì in dovere di difendere e confermare la buona riuscita di un importante esperimento cartografico della *plate tectonics: l'Atlantic fit*. Quell'esperimento si trovava infatti nella terra di confine tra tettonica a zolle ed espansione terrestre, ed era necessario riuscisse per entrambi. Ma quelli più generali di Ott Hilgenberg, Kenneth Creer, Hugh Owen e successori sono da considerarsi esperimenti che, pur nel loro piccolo costo e impiego di pochi e semplici mezzi, potevano competere quanto a significato con quelli della cosiddetta "grande fisica".

Collages, sfere lignee, calotte di perspex e inchiostro di china, e poi software cartografico di solo poche migliaia di istruzioni in concorrenza con i sofisticati apparati ed i supercomputer allestiti per i grandi acceleratori di particelle? Personalmente sono convinto che non si tratti di concorrenza in senso competitivo: la "piccola fisica" *low cost* degli espansionisti e la "grande fisica" *huge funding* si può dire concorrano invece a un obiettivo comune sostenendosi a vicenda. Io forse mi illudo, o sogno, che almeno una piccola parte della numerosissima comunità dei fisici sia consapevole della esistenza e significato della cartografia a raggio variabile, e della condivisione con essa di cui gode il campo di indagine sulla natura fisica e materiale dello spazio, del quale fa parte anche l'epopea della ricerca del bosone di Higgs. Uno spazio materiale, e non puramente geometrico, è fortemente invocato come una delle possibili cause generali (ne esistono

anche di contingenti) della espansione, accanto ad altri temi cari alla fisica fondamentale come particelle esotiche, WIMP, gravitoni e così via. In Italia un gruppo di fisici sperimentali e teorici di Catania ha già conseguito notevoli progressi su questo *apeiron* le cui proprietà sono tutte da indagare. Tutti questi temi, che non si escludono a vicenda, potrebbero in futuro accertare con esperimenti riproducibili – o con forti ragioni teoriche – che qualcuno o tutti questi sfuggenti oggetti, con contributi diversi, abbiano la proprietà di trasformarsi in materia ordinaria, elettroni protoni atomi e molecole, con maggiore probabilità nell'interno più denso e massiccio dei corpi celesti. Il risultato sarebbe una serie di processi fisici e chimici che porterebbero ad una espansione di pianeti e stelle e alla necessità di riformulare cosmogonia del sistema solare e cosmologia. Questo interpretando in modo che molti giudicherebbero estremistico gli esperimenti cartografici.

Una via più accettabile ma meno generale chiama in causa una fisica abbastanza convenzionale, come cambiamenti di fase lenti che tramuterebbero i materiali del nucleo, di densità circa 9 g/cm^3 , in materiali del mantello, di densità minore, circa 5 g/cm^3 , producendo sì l'espansione, ma destinata ad esaurirsi nel tempo geologico con l'eventuale trasformazione di tutto il nucleo in materiali con reticoli cristallini più aperti.

È necessario far partecipe il lettore che queste nuove prospettive, pur essendo i seguaci della *expanding Earth* fondamentalmente ottimisti, inducono almeno un minimo di inquietudine. Il grado di instabilità del nostro pianeta, definibile mutevole e instabile già con la *plate tectonics*, diviene ancor più alto e imprevedibile per un globo in espansione che cresce in volume ma forse anche in massa – se lo spazio è sostanza e non geometria. Finanche la morfologia delle galassie assume un significato del tutto diverso (almeno per i seguaci della versione più estrema e generale della espansione). Se infatti qualche mezzo sub-quantico nutre i corpi celesti potremmo essere portati a pensare che i bracci delle galassie non siano delle tranquille onde di densità ma percorsi verso il centro galattico, e che tutti i sistemi solari ivi contenuti non rivolgeranno per miliardi e miliardi di anni su enormi ellissi ma solo per ancora centinaia e centinaia di milioni di anni su traiettorie spiraleggianti sempre più strettamente intorno al turbolento centro galattico. E che tutto questo (sia l'espansione dei pianeti che i percorsi lungo i bracci galattici) potrebbe avere conseguenze sulle stime statistiche della eventualità di trovare altri mondi che ospitino la vita o anche abitati da specie intelligenti.

Immaginiamo un universo in uno stato di cambiamento, mobilismo, evoluzione più veloce e non immaginabile nella più tradizionalista concezione del *big-bang*? Si ma ... è preoccupante? Non direi. I tempi coinvolti sarebbero sempre tanto lunghi, geologici, da far ben sperare in progressi tecnici che evitino alle specie che ci succederanno – o ci affiancheranno – gli eventi cosmici prefigurati. Comunque, sebbene gli esperimenti cartografici da più di un secolo a questa parte abbiano dato esito positivo e in forte favore di una espansione terrestre, ancora è obiettivamente indecidibile quale sia la causa della espansione. Ci si aspetta quindi che siano i futuri esperimenti della fisica a gettare nuova luce su questi problemi.

Infine, oltre ai progressi sperimentali già conseguiti dalla cartografia e dalla fisica su una strada che potrebbe divenire sempre più condivisa, altri progressi sono attesi in altri campi limitrofi. In planetologia ad esempio, ricostruzioni cartografiche a raggio variabile nel passato geologico non sono state mai ancora tentate per quei pianeti o satelliti del

sistema solare (ricordo solo Marte e Ganimede) che mostrano segni di espansione. Una seconda importante strada non ancora percorsa deve essere imboccata dalla Geodesia, scienza sorella della Cartografia. Così come i paleopoli devono essere correttamente trattati per ricavare la loro posizione in antiche epoche geologiche tenendo conto dell'appropriato raggio terrestre (Fig. 6), anche i dati di campagne geodetiche eseguite in anni diversi, e poi confrontati tra loro per rivelare spostamenti reciproci tra frammenti continentali, dovrebbero essere trattati riferendosi al raggio del pianeta nel momento della loro misura. La Geodesia usa molti parametri fissi (raggio medio terrestre, ellissoide di riferimento, ...) nei suoi metodi e software che invece dovrebbero essere funzioni del tempo, e una trattazione del problema di un globo in espansione non è ancora disponibile. Un passo avanti in questa direzione sarebbe auspicabile per riallacciare più strettamente la parentela delle due discipline.

Ringraziamenti e suggerimenti per saperne di più

Ringrazio per aver considerato la possibilità di pubblicare una versione più agile e in italiano della rassegna *Variable Radius Cartography*, un preprint scaricabile dal sito web *Earth Prints* dell'INGV. In questo preprint il lettore interessato troverà molte altre notizie e personaggi qui non trattati e una vasta bibliografia che qui per ragioni di spazio si omette. Per gli esperimenti sullo spazio come mezzo materiale chi vuole approfondire potrà scaricare dalla rete i lavori di Maurizio Consoli e colleghi di Catania, e del fisico australiano Reginald Cahill. Aggiornamenti e tendenze sulla concezione della Terra in espansione possono essere letti sul volume a cura di Scalera, Boschi e Cwojdzinski *The Earth Expansion Evidence – A Challenge for Geology, Geophysics and Astronomy* pubblicato per i tipi di Aracne Editrice in Roma, atti del congresso omonimo tenuto nel 2011 a Erice presso la Scuola *Ettore Majorana*.

BIBLIOGRAFIA

- Aëro-Dilettant (pseudonym of J.A.H. Kerkhoff). 1928. "Het Maanproblem: Opgelost. Het Vraagstuk der oceanen en continenten onzer 'tegenwoordige' Aarde: Verklaard" (in olandese). Uitgave Electriche Drukkerij "Luctor et Emergo" S. Gravenhage, 126 pp.
- Beekman, G. 2005. The nearly forgotten scientist Ivan Osipovich Yarkovsky. *Journal of the British Astronomical Association*. 115 (4): 207-212.
- Brösske, L. 1962. "Wachst die Erde mit Naturkatastrophen? Die 'Expansions-Theorie' (Does the Earth grow with natural catastrophes? The expansion theory)." Dusseldorf-Benrath: "Sanus" Brösske Abtig, Verlag. 105 pp.
- Chiarelli, B., Rombai, L., Ammannati, F., Cardini, F., Calzolari, S., Castagna, C.A. 1992. *La carta perduta – Paolo dal Pozzo Toscanelli e la cartografia delle grandi scoperte*. Cassa di Risparmio di Firenze, Firenze: Alinari. 118 pp.
- Creer, K.M. 1964. "A reconstruction of the continents for the Upper Palaeozoic from palaeomagnetic data." *Nature*. 203 (4950): 1115-1120.
- Creer, K.M. 1965. "An expanding Earth?" *Nature*. 205 (4971): 539-544.
- Dick, T. 1838. *Celestial Scenery*. Brookfield: E. & L. Merriam. 390 pp.
- Edwards, M.R. (ed.). 2002. "Pushing Gravity." Montreal: Roy Key Inc. 316 pp.
- Heezen BC, Tharp M. 1977. *World Ocean Floor* (a map). Washington, DC: U.S. Navy Office of Naval Research.
- Hilgenberg, O.C. 1933. *Vom wachsenden Erdball (The Expanding Earth)*. Berlin: Giessmann & Bartsch, 56 pp.
- Hilgenberg, O.C. 1962. Paläopollagen der Erde (Earth's palaeopoles). *Neues Jahrb. Geol. Paläont.*, 116 (1): 1-56.
- Hilgenberg, O.C. 1965. Die Paläogeographie der expandierenden Erde vom Karbon bis zum Tertiär nach paläomagnetischen Messungen (The Paleogeography of the Expanding Earth from the Carboniferous to the Tertiary Period, according to Paleomagnetic Measurements). *Geologischen Rundschau*. 55: 878-924.

- Hilgenberg, O.C. 1974. Geotektonik, neuartig gesehen (Geotectonics, seen in a new way). *Geotektonische Forschungen*. 45 (1-2): 1-194.
- Lilienthal, T.C. 1756. *Die gute Sache der Göttlichen Offenbarung*. vol.VII. Königsberg: Hartung. 247 pp.
- Mantovani, R. 1889. Les fractures de l'écorce terrestre et la théorie de Laplace. *Bulletin de la Société des Sciences et Arts de La Réunion*. 41-53.
- Mantovani, R. 1909. L'Antarctide. *Je m'instruis – La science pour tous*. 38, 19 september: 595-597.
- Oresme, N. 1377. *Le livre du ciel et du monde* (I, 24). In: M. Parodi (ed.) 1981. *Tempo e spazio nel medioevo*. Antologia. Sez.III, documento 14. Torino: Loescher. 256 pp.
- Owen, H.G. 1976. "Continental displacements and expansion of the Earth during the Mesozoic and Cenozoic." *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A*. 281 (1303): 223-291.
- Owen, H.G. 1983. "Atlas of continental displacement, 200 million years to the present." Cambridge: Cambridge University Press. 159 pp.
- Owen, R. 1857. *Key to the geology of the globe*. Nashville, Tennessee: Stevenson & Owen, W.T. Berry & Co. viii. 256 pp.
- Patrizio (da Cherso), F. 1562. *Della Retorica – Dieci Dialoghi. I° dialogo*. In Venezia: appresso Francesco Senese. 5-7.
- Placet, F. 1666. *La corruption du grand et petit monde*. Paris: Alliot & Alliot.
- Scalera, G. 1999. *I moti e la forma della Terra*. Roma: INGV. 195 pp.
- Scalera, G. 2007. "Fossils, frogs, floating islands and expanding Earth in changing-radius cartography – A comment to a discussion on Journal of Biogeography." *Annals of Geophysics*. 50 (6): 789-798.
- Scalera, G. 2009. Roberto Mantovani (1854-1933) and his ideas on the expanding Earth, as revealed by his correspondence and manuscripts. *Annals of Geophysics*. 52 (6): 615-648.
- Smith, A.G., Hallam, A. 1970. The Fit of the Southern Continents. *Nature*. 225: 139-144.
- Snider-Pellegrini, A. 1858. *La Création et ses mystères dévoilés*. Paris: Frank e Dentu. 487 pp.
- Wegener, A. 1912a. Die Entstehung der Kontinente. *Geologische Rundschau*. 3: 276-292.
- Wegener, A. 1912b. Die Entstehung der Kontinente. *Petermanns Geographische Mitteilungen*. 58: 185-195: 253-256: 305-309.
- Wegener, A. 1915-1936. *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*. 5th ed. Braunschweig: Fiedr. Vieweg & Sohn. 1976, Italian Translation by Clara Giua. Torino: Boringhieri. 313 pp.
- Yarkovsky, I.O. 1888. *Hypothèse cinétique de la gravitation universelle en connexion avec la formation des éléments chimiques*. Pubblicato dall'autore a Mosca.
- Zarathustra. 1916. *L'Avesta – Vendidad*. Traduzione italiana di F.A. Cannizzaro, Messina. 235 pp.

BREVI NOTE BIOGRAFICHE DELL'AUTORE

Giancarlo Scalera si è laureato in fisica generale presso l'Università di Bari ed è stato ricercatore presso l'INGV dal 1979 fino al 2014. Ha lavorato sulla teoria della espansione della Terra sin dagli anni '80 sia per gli aspetti scientifici che storici. Attualmente in quiescenza, continua le sue ricerche sulla *expanding Earth* privatamente. È autore o editore di diversi libri su questi aspetti di frontiera delle scienze della Terra.

FIGURE E DIDASCALIE

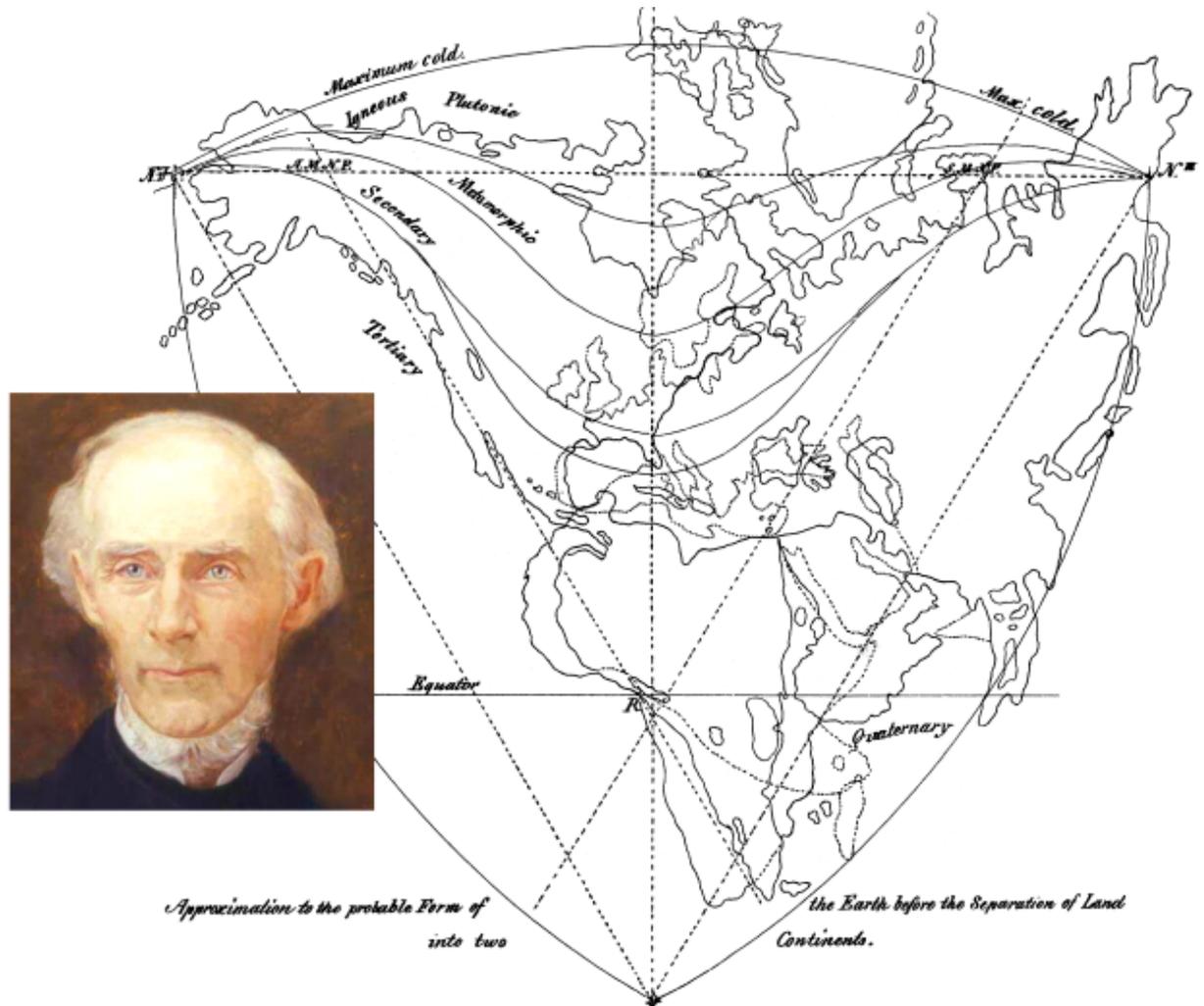


FIG. 1 – A sinistra: un ritratto di Richard Owen, il figlio dell’utopista inglese Robert Owen, fondatore della comunità New Harmony negli Stati Uniti. Richard divenne rettore della Indiana University. A destra: La posizione dei continenti proposti da Owen nel suo libro del 1856. La didascalia originale della mappa (mia traduzione) recita: *Approssimazione della probabile forma della Terra prima della separazione della Terra in due continenti. Le terre emerse sono state ricollocate come erano prima della separazione nei presenti continenti: le linee tratteggiate indicano quelle porzioni che nel lontano passato sono presunte sommerse e coperte dalle parti disegnate con linee continue. Così, gli strati che compongono il continente sudamericano si suppone che una volta abbiano giaciuto sugli strati sepolti dell’Africa, in particolare nella regione del suo Sahara. Così anche l’Australia è immaginata, in alcune delle precoci fasi della Terra, sovrapposta all’Arabia, [... ...] . Forse la Nuova Guinea ha occupato la regione depressa del Mar Caspio. La mappa di Owen, per quanto ed a ragione sia oggi giudicata inaccettabile costituisce un documento storico. È infatti il primo esercizio cartografico in cui la Terra è concepita di volume e superficie minore nel passato geologico.*

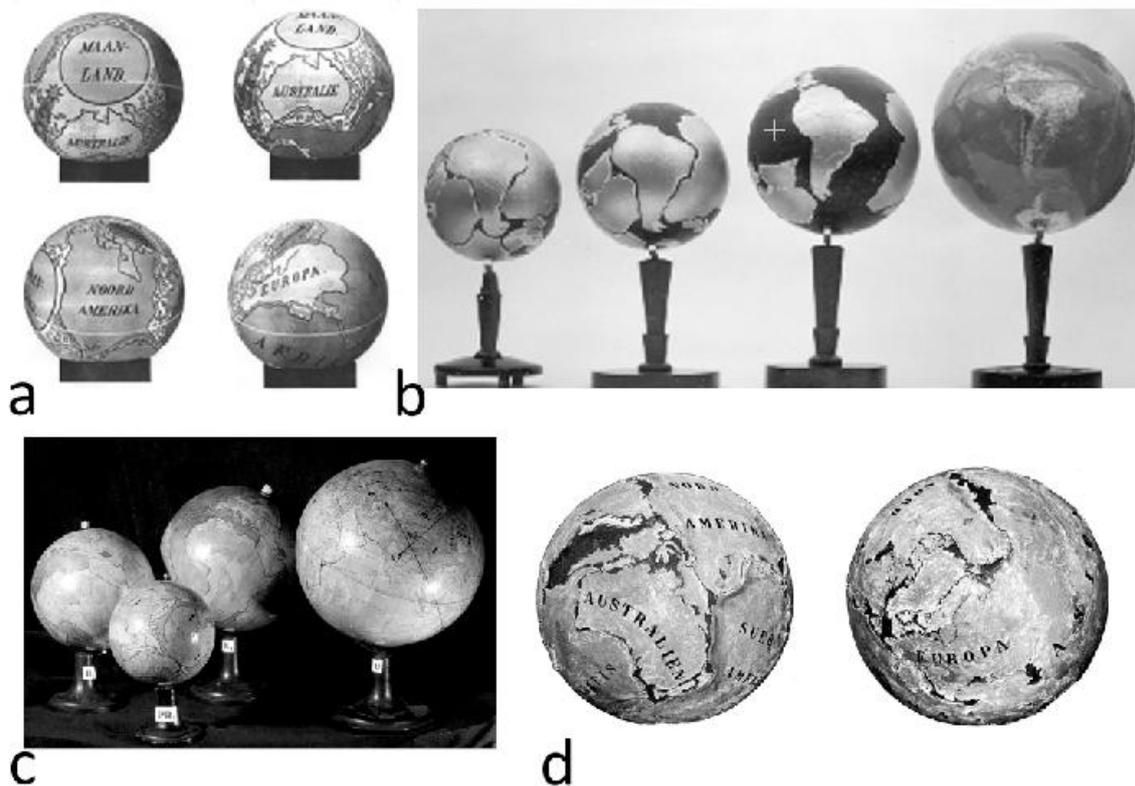


FIG. 2 – a) Quattro pose fotografiche del globo ligneo dell'olandese J.A.H. Kerkhoff (1928) mostrano la Terra primordiale ricoperta da sola crosta continentale, senza gli oceani. L'Europa è in contatto con l'Africa, senza il Mediterraneo interposto. La zona indicata come *Maan Land* è quella dove, secondo Kerkhoff, una cometa avrebbe urtato il nostro pianeta, proiettando nello spazio materiali sufficienti a costituire la attuale Luna, e dando inizio all'espansione terrestre. – b) Foto dei globi paleogeografici del geofisico tedesco Ott Hilgenberg (lastra fotografica di Bernd Kleeberg; 1933 circa). Una riproduzione dei quattro globi è stata realizzata all'INGV nel 2003 ed è in mostra all'Osservatorio di Rocca di Papa, vicino Roma. – c) I quattro globi paleogeografici a raggio minore realizzati con l'ausilio di dati paleomagnetici dal russo Ivan Vasilievic Kirillov (1909-2004) che per molti anni fu direttore di un Laboratorio di Modellazione Navale. I globi sono custoditi a Mosca presso il Museo Geologico Ershov che ha gentilmente concesso la foto. – d) Fotografie del globo paleogeografico del tedesco Ludwig Brösske pubblicate nel suo libro del 1962. La soluzione data da Brösske per la posizione mutua dei continenti circumpacifici è assai simile a quella trovata recentemente con cartografia assistita da computer.

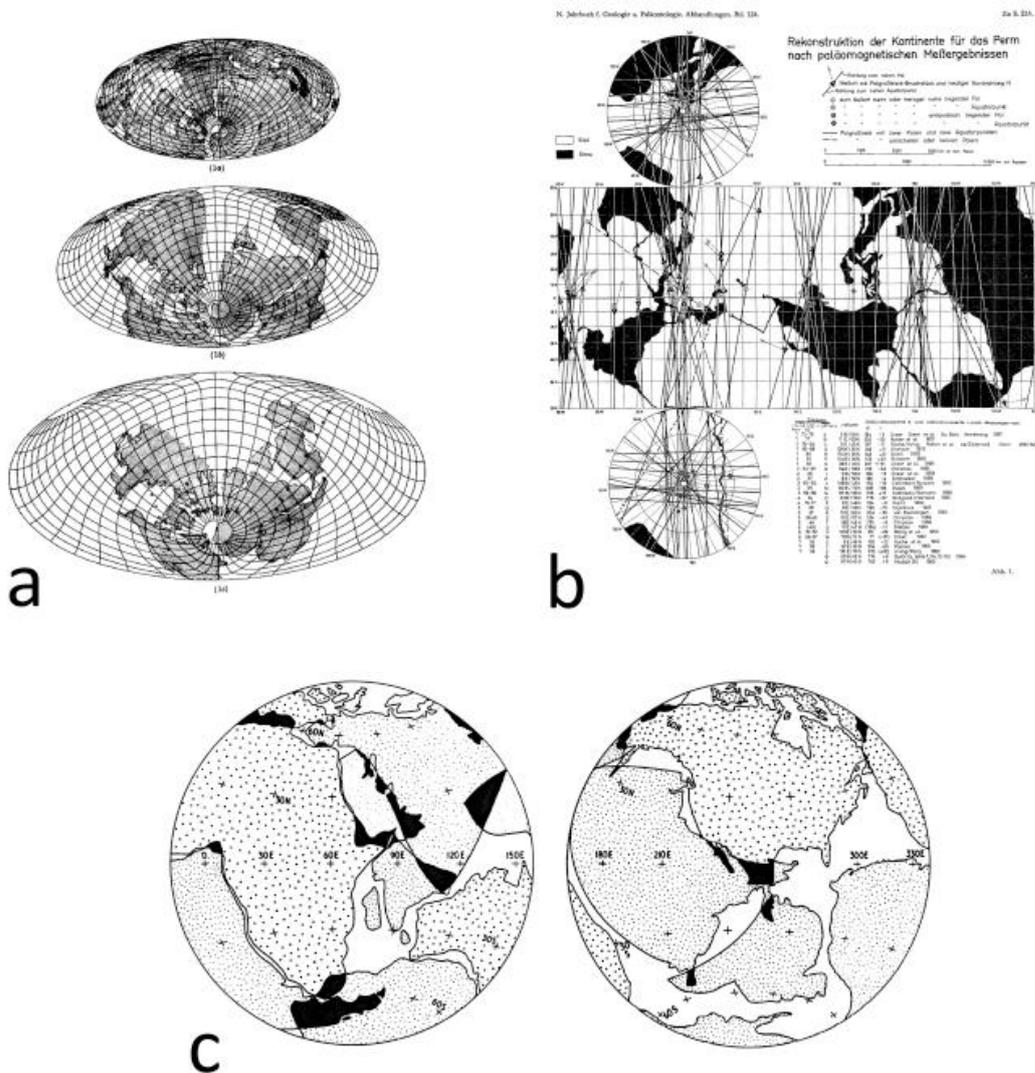


FIG. 3 Esperimenti cartografici. – a) Le tre mappe che il paleomagnetista britannico Kenneth Creer nel 1965 pubblicò a conclusione del suo esperimento cartografico. – b) Al berlinese Ott Hilgenberg fu necessaria una proiezione interrotta per rappresentare anche le zone polari nella sua ricostruzione del Carbonifero (circa 320 milioni di anni fa) eseguita con l'aiuto dei paleopoli allora disponibili. – c) in Australia Brian Embleton e Phil Schmidt ripeterono alla fine degli anni '70 l'esperienza di Hilgenberg con dati paleomagnetici più aggiornati. Sulle loro ricostruzioni del Proterozoico Inferiore (circa 2 miliardi di anni fa) i continenti assumevano posizioni reciproche molto simili a quelle di oggi, un risultato in favore della espansione della Terra.

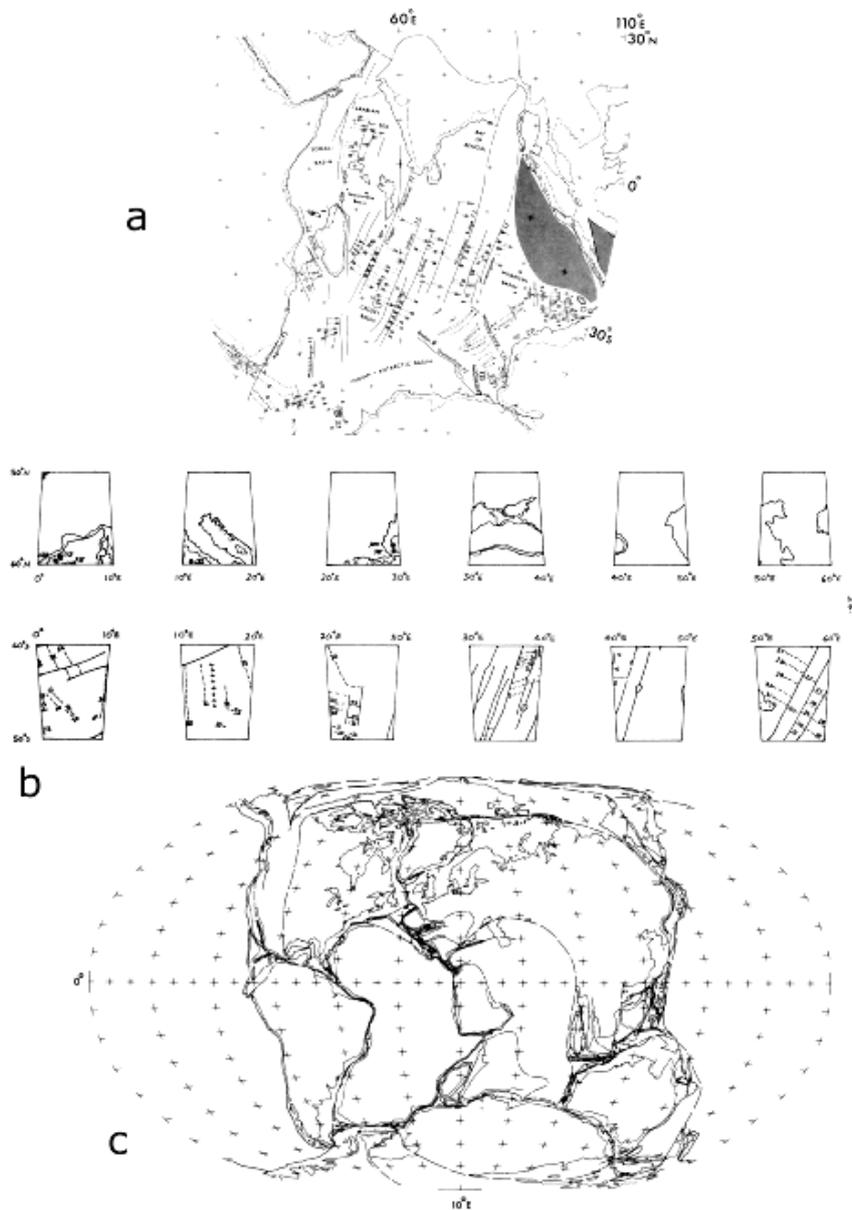


FIG. 4 La cartografia classica nell'*Atlante* del geologo inglese Hugh Owen. – a) La ricostruzione dell'Oceano Indiano per il Paleocene (circa 60 milioni di anni fa) ad un raggio pari al 94% dell'attuale. Sui fondali oceanici sono riportate le anomalie magnetiche che hanno avuto funzione di ausilio per il cartografo. – b) Un esempio di una serie di trapezoidi geografici $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ usati da Owen nel suo complesso metodo di costruzione delle mappe. Nella fila superiore si distingue la penisola italiana, il mar Nero, il Caspio. In quella inferiore sono riportate le medesime latitudini e longitudini, ma per l'emisfero meridionale. – c) Il supercontinente Pangea ad 80% del raggio terrestre attuale, con l'oceano Tetide fra Africa ed Europa completamente chiuso (mentre risulterebbe un oceano molto largo nelle ricostruzioni a raggio costante).

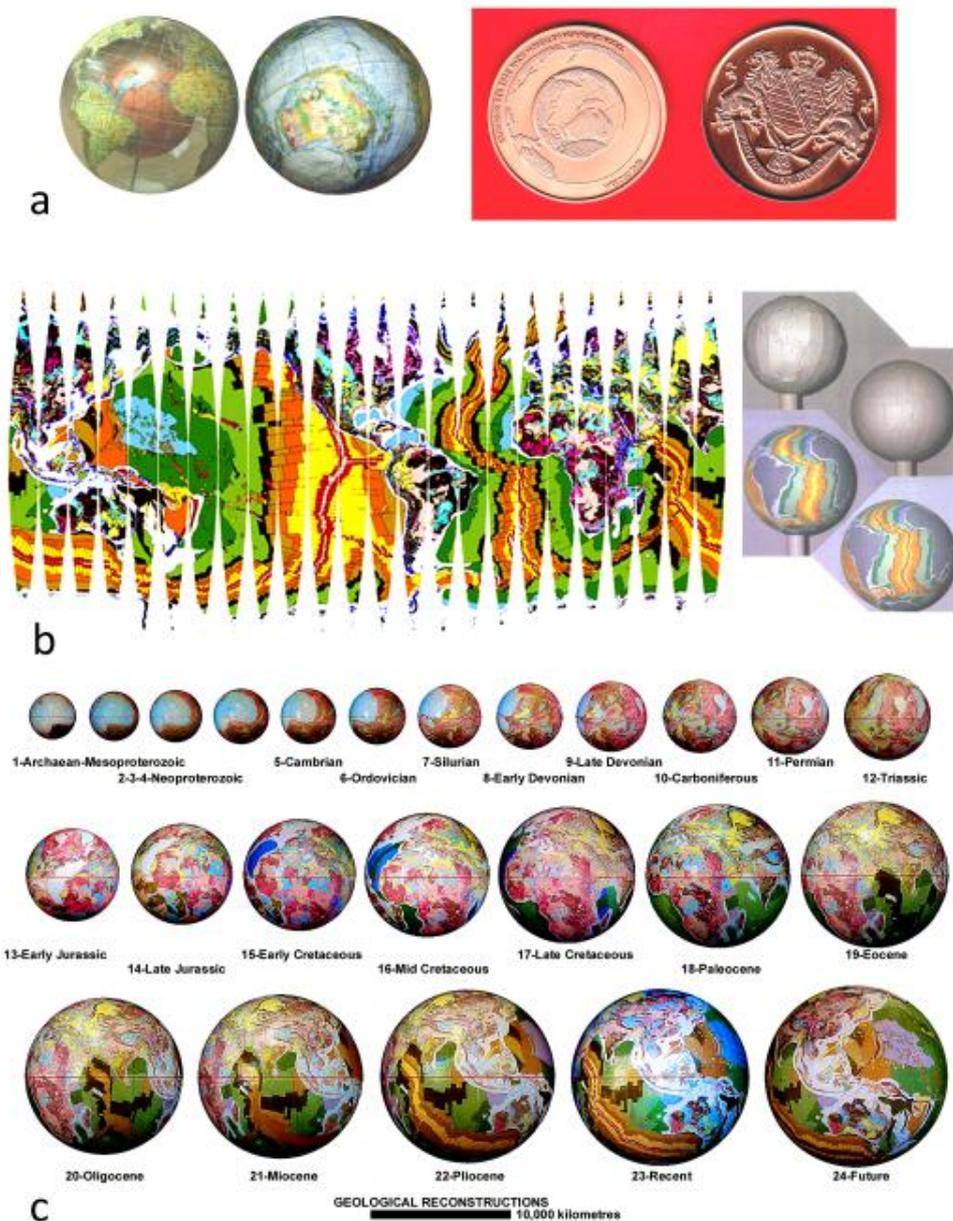


FIG. 5 – a) I globi paleogeografici di Klaus Vogel costruiti con semplici ma efficaci *collages*. Quello a sinistra è un esempio del suo 'Globo nel globo', dove quello interno rappresenta la Terra ricoperta interamente da crosta continentale ad un raggio circa la metà dell'attuale. A destra la medaglia conosciuta dalla Municipalità di Werdau in suo onore. – b) I ventiquattro fusi della Carta Geologica Globale (*Geological Map of the World*) edita dall'*UNESCO* usati dall'australiano James Maxlow per riportarne le informazioni su globi di polistirene (a destra alcune fasi intermedie della lavorazione). – c) La serie completa dei globi di Maxlow rappresenta la geografia terrestre dall'Archeano al Recente, spingendosi anche pochi milioni di anni nel Futuro. I globi nella realtà sono tutti di eguale dimensione (30 cm) e la variazione del raggio è simulata incollando su questi globi copie opportunamente ingrandite dei fusi. Le fotografie dei globi delle varie epoche geologiche vengono poi ridotte alla giusta scala e accostate fino a costituire la serie di globi qui riprodotta.

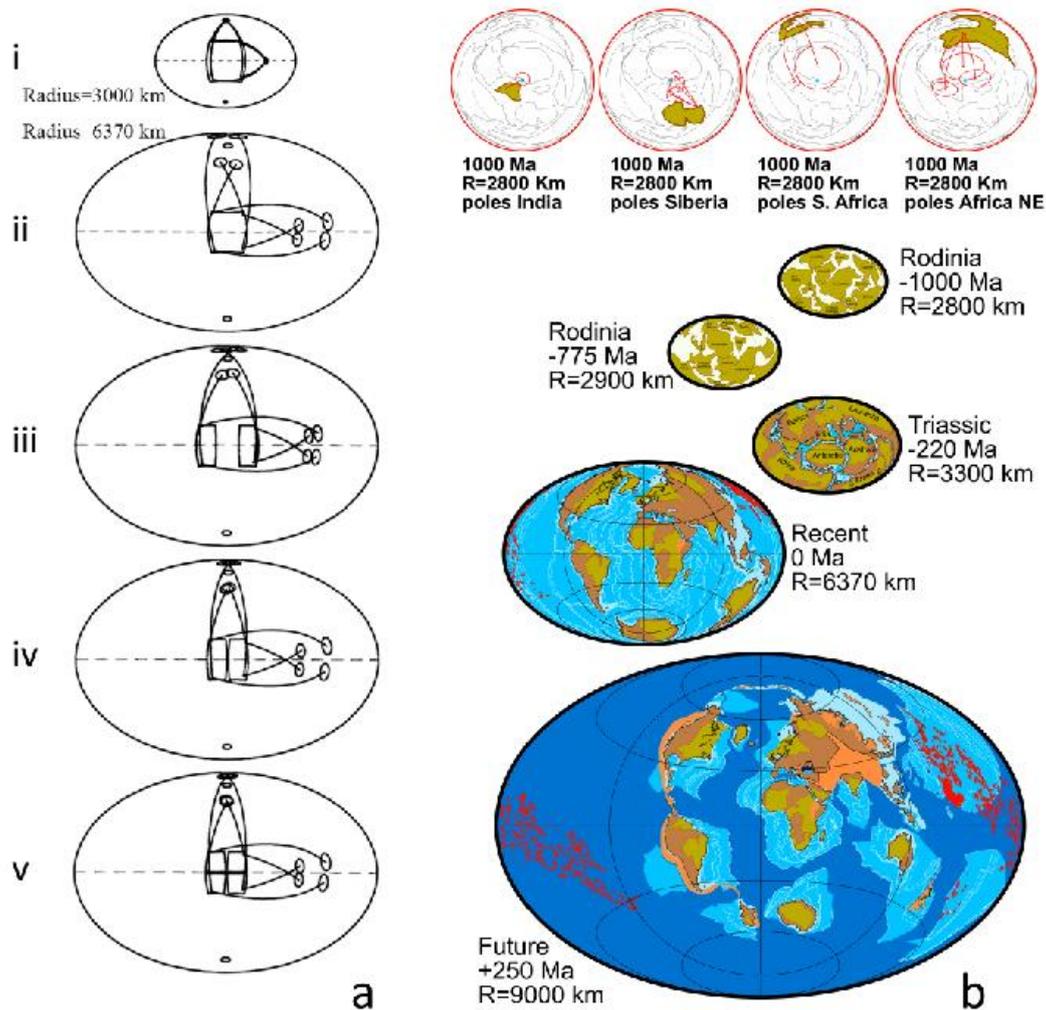


FIG. 6 – a) Gli effetti della espansione terrestre sulla distribuzione dei paleopoli. In alto, su un globo di raggio pari a 3000 km, il Polo Nord e un polo arbitrario sull'equatore vengono visti in posizioni ben definite da quattro osservatori posizionati ai quattro angoli della placca continentale. Se poi il raggio terrestre aumenta fino a raggiungere il valore attuale di 6370 km, quei paleopoli, deducibili dalla magnetizzazione delle rocce, si disperdono per effetto dell'adattamento della placca continentale ad una superficie di minore curvatura e della diversa legge di trasformazione di placche e paleopoli al variare del raggio. Dalle varie situazioni raffigurate si evince che sia la frammentazione della placca sia l'eventuale allontanarsi dei frammenti, influenzano la dispersione dei paleopoli. L'allontanamento reciproco dei frammenti può mitigare la dispersione dei poli. Tutti questi effetti impongono di usare i paleopoli su una terra in espansione con grande cautela. – b) In alto i frammenti dei quattro antichi scudi precambriani di India, Siberia, Sud Africa e Africa del Nord-Est posizionati alla giusta latitudine con l'aiuto dei paleopoli relativi a 1 miliardo di anni fa su un globo di raggio $R_T=2800$ km (in proiezione polare equiareale di Lambert; l'equatore è tratteggiato). L'India si trova nell'emisfero settentrionale. In basso è tracciata una serie di ricostruzioni dall'epoca del supercontinente Rodinia fino al Recente e una estrapolazione al Futuro (+250 Ma) usando una proiezione ortofanica (Lambert modificata). L'India proviene dal Nord e rimane sempre in contatto geologico con l'Eurasia.