



ACCADEMIA PUGLIESE DELLE SCIENZE

# ATTI E RELAZIONI

LVI 2021

LEONARDO DA VINCI  
NEL V CENTENARIO DELLA MORTE

EDITOR

Eugenio Scandale

GUEST EDITORS

Giulio Avanzini Università del Salento, Fabio Gargano INFN Bari,  
Francesco Giordano Università di Bari, Antonio Lucio Giannone Università del Salento

CLASSE DI SCIENZE FISICHE  
MEDICHE E NATURALI

CLASSE DI SCIENZE MORALI

#### DIRETTORE

Eugenio Scandale

*presidenza@accademia pugliese scienze.it*

#### VICEDIRETTORE

Luigi Piacente

*luigi.piacente@uniba.it*

#### COMITATO SCIENTIFICO

Immacolata AULISA (Università di Bari); Allen BATEMAN PINZON (Universitat Politècnica de Catalunya); Lazzaro Rino CAPUTO (Università di Roma “Tor Vergata”); Pietro DE PALMA (Politecnico di Bari); Cristiano FERRARIS (Museum National d’Histoire Naturelle, Paris); Gianvito GIANNELLI (Università di Bari); Raúl GONZALEZ SALINERO (UNED, Madrid); Massimo INGUSCIO (Università Campus Biomedico, Roma); Marcella LEOPIZZI (Università del Salento); Fabrizio NESTOLA (Università di Padova); Tito ORLANDI (Universität Hamburg); Giuseppe PARDINI (Università del Molise); Ugo PATRONI GRIFFI (Università di Bari); Corrado PETROCELLI (Università di San Marino); François ROUDAUT (Université de Montpellier); Gabriele SCARASCIA MUGNOZZA (Università di Roma “La Sapienza”); Francesco SDAO (Università della Basilicata); Agostino SEVI (Università di Foggia); Ake SIVERTUN (Research Institutes of Sweden); Gjinushi SKENDER (Science Academy of Albania, Tirana); Aurelia SOLE (Università della Basilicata); Mario SPAGNOLETTI (Accademia Pugliese delle Scienze); Sergej TITKOV (Russian Academy of Science, Moscow); Antonio URICCHIO (Università di Bari); Angelo VACCA (Università di Bari); Ludovico VALLI (Università del Salento); Giuliano VOLPE (Università di Bari); Nelu ZUGRAVU (Universitatea din Iași, Romania)

#### COMITATO EDITORIALE

Giovanna AGROSÌ (Università di Bari); Filomena CANORA (Università della Basilicata); Antonio DELL’OSSO (Università di Bari); Elia DISTASO (Politecnico di Bari); Angela FABIANO (Università di Bari); Marco MAIULLARI (Accademia Pugliese delle Scienze); Patrizia MASCOLI (Università di Bari); Giovanni NATILE (Università di Bari); Fernando SCHIROSI (Accademia Pugliese delle Scienze); Gioacchino TEMPESTA (Università di Bari)

#### SEGRETERIA DI REDAZIONE

Giovanna Panebianco

Accademia Pugliese delle Scienze

Via Celso Ulpiani 27, 70125 BARI, ITALY

Tel +39 080 5443595- 3576

*segreteria@accademia pugliese scienze.it*

*https://www.accademiascienze.uniba.it/*

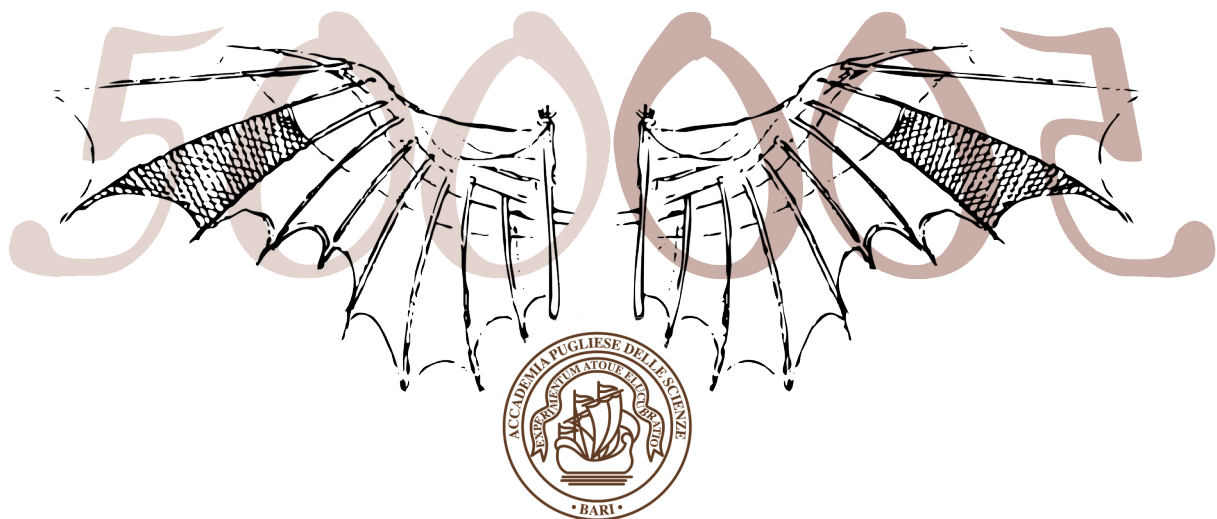
*I contributi presentati sono sottoposti ad una doppia lettura anonima da parte di specialisti del relativo settore, uno dei quali è estraneo al Comitato Scientifico.*

Periodico registrato presso il Tribunale di Bari il 25 giugno 1953 (n. 90)

ISSN 2704-7512 (testo stampato)

ISBN 978-88-94959-01

PROPRIETÀ LETTERARIA RISERVATA



**ACCADEMIA PUGLIESE DELLE SCIENZE**

**ATTI  
E RELAZIONI**

**LVI 2021**

**LEONARDO DA VINCI  
NEL V CENTENARIO DELLA MORTE**

**EDITOR**

Eugenio Scandale

**GUEST EDITORS**

Giulio Avanzini Università del Salento, Fabio Gargano INFN Bari,  
Francesco Giordano Università di Bari, Antonio Lucio Giannone Università del Salento

**CLASSE DI SCIENZE FISICHE  
MEDICHE E NATURALI**

**CLASSE DI SCIENZE MORALI**

**Francesco Sdao**

francesco.sdao@unibas.it

*Scuola di Ingegneria, Università degli Studi della Basilicata*

## **LEONARDO DA VINCI: LA GEOLOGIA PRIMA DELLA GEOLOGIA**

## **LEONARDO DA VINCI: THE GEOLOGY BEFORE THE GEOLOGY**

**Sommario** *Leonardo da Vinci, uno dei più grandi geni della storia dell'umanità, ha profondamente indagato sui processi naturali, ed in particolare su quelli geologici. In molte sue opere ha espresso opinioni e principi innovativi e ben fondati su alcuni temi di geologia; le sue scoperte e le sue intuizioni sono molto più in accordo con le attuali teorie geologiche che con quelle espresse dagli studiosi suoi contemporanei. Tutto ciò ben qualche secolo prima che Ulisse Aldrovandi, nel 1603, coniasse il termine Geologia, Niccolò Stenone, nella seconda metà del XVII secolo, ne enunciassero le leggi fondamentali e James Hutton, nel 1785, introducesse il fondamentale principio dell'Uniformitarismo. Pertanto, Leonardo da Vinci può essere considerato il precursore della moderna geologia, perché ha parlato di geologia prima della geologia.*

**Abstract** *Leonardo da Vinci, one of the greatest genius in the history of humanity, has continuously and deeply investigated the natural phenomema, particularly the geological processes. In many of his works he has expressed, demonstrating them, innovative and well-founded opinions and principles on some geological topics; his discoveries are much more in agreement with current geological theories than with those expressed by his contemporaries. All this a few centuries before Ulisse Aldrovandi, in 1603, coined the term Geology, Niccolò Stenone, in the second half of the seventeenth century, enunciated its fundamental laws and James Hutton, in 1785, introduced the fundamental principle of Uniformitarianism. Therefore, Leonardo da Vinci can be considered the precursor of modern geology, because he spoke about geology before geology.*

## 1. INTRODUZIONE

Leonardo da Vinci è stato uno dei più grandi geni visionari e creativi dell'intera storia dell'Umanità: è stato un eccelso pittore, scultore, disegnatore, architetto, ingegnere e scienziato [1]. Leonardo da Vinci ha continuamente e profondamente indagato sui processi naturali, ed in particolari sui processi geologici, considerando essenziale per l'uomo la conoscenza della geologia (*La cognizione del tempo preterito e del sito della terra è ornamento e cibo delle menti umane*, CA, 365v). In moltissime opere, dai codici, ai trattati, dai disegni ai dipinti, si colgono chiare evidenze di principi e teorie ben fondate su fenomeni geologici, anche complessi. Molti sono gli schizzi e gli abbozzi in cui i processi naturali e geologici sono ben impostati e interpretati. In molti dipinti e disegni i paesaggi geologici, con le loro rocce, le loro acque, i loro fenomeni naturali, sono rappresentati con scientificità e realismo. Solo pochissimi pittori, tra cui il Mantegna e il Pollaiuolo, ma in nessun caso con la cura dei particolari di cui sono ricche le opere di Leonardo, hanno avuto l'abilità di dipingere in modo fedele la geologia di un territorio. Il suo spiccato senso di osservazione, la sua esperienza (a tal proposito, nel Codice Atlantico scrive: *leonardo vinci discepolo della sperentia*) e la sua propensione alla sperimentazione gli hanno consentito di esprimere opinioni innovative sulla geomorfologia, sull'idrogeologia, sulla sedimentologia e su tante altre branche delle Scienze della Terra. Come ha evidenziato J.P. Richter [2], le sue scoperte sono molto più in accordo con le attuali teorie geologiche che con quelle espresse dagli studiosi suoi contemporanei. Tutto ciò fa di Leonardo da Vinci l'antesignano della Geologia: *perché ha parlato di geologia* prima che la geologia moderna iniziasse il suo lungo cammino. E tutto questo prima che Ulisse Aldrovandi coniasse, nel 1603, il termine Geologia, che Niccolò Stenone, nella seconda metà del XVII secolo, enunciò le leggi fondamentali della stratigrafia, e James Hutton, nel 1785, introducesse il fondamentale principio dell'Uniformitarismo (*Il presente è la chiave del passato*). È il pioniere e non il fondatore della Geologia perché i suoi principali scritti scientifici, ed in particolare il Codice Leicester (CL), la principale fonte delle sue idee geologiche, attirarono l'attenzione degli scienziati italiani solo nei primi decenni del '900; tra questi si ricordano Mario Baratta e soprattutto Giuseppe de Lorenzo [3]. Il suo spirito di osservazione, le sue continue sperimentazioni ne fanno anche il precursore del metodo scientifico sperimentale, di cui Galileo Galilei è stato il fondatore.

Nel lavoro, ricorrendo all'esame di alcuni dipinti, disegni e brani dei principali codici leonardeschi, saranno illustrate alcune idee di Leonardo sulla sedimentologia, sull'idrogeologia, sulla geomorfologia fluviale e sull'instabilità dei versanti.

## 2. LEONARDO DA VINCI E LE ACQUE SOTTERRANEE.

Leonardo da Vinci, in tutta la sua vita, ha indagato sull'origine delle acque e sui meccanismi della circolazione idrica sotterranea e superficiale. Nelle sue riflessioni sul *Corpo della Terra*, riportate nel Codice Leicester, il primo trattato organico di idrologia e di scienze delle acque, l'origine della vita è strettamente legata al fluire dell'acqua, *tant'è che il corpo della Terra, a similitudine de corpi de li animali è tessuto di ramificazioni di vene* (fiumi, condotti sotterranei, ndr), *le quali congiunte, e son costituite a nutrimento e a vivificazione d'essa terra e de sua creati* (CL, f. 33v). Secondo Leonardo la circolazione sotterranea dell'acqua avveniva lungo le già menzionate *vene*, mediante le quali l'acqua risale, grazie al calore sotterraneo (*il livello del mare esalato dalli fochi che stan nel centro over corpo della terra* - CL f. 33v), dal fondo dell'oceano alle cime delle montagne, da cui scaturisce per tornare, attraverso torrenti e fiumi, di nuovo al mare (Figura 1).



Figura 1. Codice Leicester (foglio 3v) con i particolari delle vene d'acqua sotterranea e del meccanismo di circolazione idrica sotterranea [1].

Successivamente (intorno al 1483) le sue vedute sull'origine e sulla circolazione sotterranea dell'acqua cambiarono, convincendosi che *l'acqua delli fiumi non dal mare ma dalli nuvoli ha origine* [CA f. 433r] e che la pioggia ruscellando

e trasportando materiale solido si raccoglie in rivoli, torrenti e fiumi che *allargano le loro valli e consumano le radici de' monti laterali* [Codice Arundel (CAR), f. 161r]. Ed ancora... *Ma nelli monti, l'acque piovane subito penetrano essa terra, e discorran infra le fessure delle pietre e empie di sé le vene e i corpi cavernosi* [CL f.3r]. Quindi, sono le stesse piogge che alimentano il deflusso idrico sotterraneo, completando quello che oggi è conosciuto come ciclo idrogeologico delle acque.

Leonardo si è anche occupato di idrogeologia e di dinamica idrica sotterranea: infatti in molti fogli del Codice Leicester sono trattati temi interessanti e complessi di dinamica idrica sotterranea, di formazione di sorgenti, di interventi strutturali di captazione delle acque sotterranee. Nei primi anni del '500, durante il suo soggiorno in Lombardia, si è imbattuto, nei pressi del Lago di Como, *nella Fonte Pliniana*, un'importante sorgente carsica intermittente (con portate idriche dell'ordine dei 3000 l/min) [4], già menzionata da Plinio il Vecchio, nella sua *Naturalis historia*. Nel Codice Leicester, Leonardo ne descrive le principali caratteristiche e i meccanismi di intermittenza: *Come in molti lochi si trova vene d'acqua che sei ore crescono e sei ore calano e io per me n'ò veduta una in su lago di Como ditta fonte pliniana la qual fa il predetto crescere e diminuire in modo che quando versa macina più mulina e quando manca cali si c'egli é come guardarsi lacqua in un profondo pozzo* (CL, f. 11v).

Nel famoso quadro *il Battesimo di Cristo* (dipinto da Verrocchio e da Leonardo nel periodo 1472 – 1475) (Figura 2) è possibile osservare uno dei più noti meccanismi di formazione di una sorgente idrica. Tralasciando molti altri particolari di natura geologica presenti in questo dipinto, e di cui parleremo in seguito, ci soffermiamo sull'acclive balza rocciosa presente tra il Cristo e il Battista. Questa balza è modellata in una roccia arenacea di colore giallo ocra, ospitante rari livelli argillosi scuri, conosciuta come Formazione del Macigno (Oligocene – Miocene) e diffusamente affiorante nell'Appennino Tosco-Emiliano [5]. Se osserviamo con attenzione la balza rocciosa, la parte inferiore, fino a metà altezza, è costituita da arenarie ben stratificate, praticamente impermeabili, con sottili laminazioni a giacitura orizzontale, mentre la parte superiore è, invece, composta da blocchi arenacei con laminazioni verticali, permeabili per fessurazione, verosimilmente crollati dalla parete retrostante (Figura 2). Al passaggio fra queste due situazioni strutturali, in corrispondenza di un interstrato argilloso impermeabile più scuro, sgorga un vivace zampillo d'acqua. Pertanto, questa sorgente si realizza per la presenza di un acquifero roccioso permeabile per fessurazione e per un limite di permeabilità (interstrato argilloso) che impedisce il deflusso idrico verticale. Quindi, Leonardo, oltre a conoscere alcuni meccanismi di formazione di sorgenti, aveva compreso il ruolo della permeabilità delle rocce nella genesi delle sorgenti e quello che la fessurazione ricopre

nella permeabilità delle stesse. Infatti, nel Codice Leicester si legge: *dove le pietre si mostrerà per taglio o poco obblique verso il cielo quivi fia gran penetrazione d'acqua...e se le pietre che si mostrano al cielo colle lor fronti, sarà lastre di minuta grossezza, queste fien bevitrici d'assai acqua piovana.*



Figura 2. Verrocchio e Leonardo. Il Battesimo di Cristo (1472 – 1475 ca). La stella rossa indica il macereto di frana crollato, permeabile per fessurazione e costituente l'acquifero della piccola sorgente visibile nell'ellisse bianco.



### 3. LA GEOMORFOLOGIA FLUVIALE E I MEANDRI

Leonardo da Vinci si è occupato di geomorfologia fluviale con acume e competenza. Le sue prime osservazioni di geomorfologia fluviale hanno riguardato il Torrente Vincio, un piccolo corso d'acqua che lambiva il borgo dov'era nato, riconoscendo la gradualità con cui si sviluppano i processi erosionali. I suoi studi sulla dinamica fluviale, sulle piene fluviali, sull'erosione accelerata, sulla sedimentazione fluviale sono essenzialmente basati su meticolose osservazioni e ripetute sperimentazioni. Ha descritto e interpretato, con copiosi particolari, le principali morfologie fluviali e i relativi processi idrodinamici: gli alvei rettilinei, i corsi d'acqua rami intrecciati, i fiumi a meandri con le loro barre, i loro alvei sinuosi e le sponde asimmetriche [6]. Il tema geomorfologico del meandro è presente in molte opere pittoriche di Leonardo: per esempio nella *Madonna dell'Aspo*, in cui un fiume a meandri solca le dolci colline toscane (Figura 3). Certamente Leonardo ha come modello Antonio del Pollaiuolo, un innovatore nella tecnica pittorica del paesaggio. I suoi meandri, si osservi in particolare il dipinto *Ercole e Idra* (Figura 3), sono tracciati con realismo e precisione. Tuttavia, i meandri disegnati da Leonardo, oltre ad essere realisti e minuziosi nei particolari, sono ricchi di evidenze sedimentologiche, idrogeologiche e geomorfologiche che ne fanno spesso un vero e proprio trattato di dinamica fluviale. Quanto fin qui detto è chiaramente osservabile in molte mappe idrografiche conservate nella Royal Collection del Castello di Windsor e nel Codice di Madrid II, tra le quali: *la Carta generale della Toscana*, *le Carte idrografiche delle Piane Pisana, di Firenze e del Valdarno inferiore* redatte per la progettazione del Canale di Firenze a difesa dalle periodiche alluvioni dell'Arno. Spicca, per contenuti scientifici, per proprietà topografiche innovative, per precisione, *la Mappa d'Imola*, un disegno a stilo, matita dura e penna colorata, redatto nel 1502 e conservato nella Royal Library di Windsor (Figura 4). Questa Mappa, che, con una vista zenitale, rappresenta il prototipo delle attuali foto aeree, riporta l'andamento sinuoso del Fiume Santerno, nella parte che lambisce la Città di Imola [7]. Una particolarità che colpisce l'occhio di un osservatore è la diversa risoluzione spaziale con cui Leonardo riporta la Città di Imola e i meandri del Fiume Santerno. La città, con i suoi quartieri, le sue case, i suoi canali, è riportata con una risoluzione dell'ordine del metro, mentre i particolari geomorfologici e sedimentologici del Fiume Santerno sono definiti con una scala centimetrica – si noti, in particolare, la minuziosità con cui sono riportate le alluvioni sabbiosoghiaiose del greto del fiume. La serie di meandri, con andamento sinuoso e con

raggio di curvatura a luoghi diversi, si dipana, incassata, all'interno di un preesistente alveo caratterizzato da una area di esondazione più larga.



Figura 3. Leonardo da Vinci: *La Madonna dell'Aspo* (1501, collezione privata (a sinistra)).  
Antonio del Pollaiuolo: *Ercole e Idra* (1475 ca, Galleria Uffizi, Firenze)

Il profilo trasversale asimmetrico dell'alveo – molto acclive sul lato concavo e poco ripido su quello convesso, è evidenziato dalle diverse sfumature di colore giallo ocra e dalla fittezza dei tratti a penna (quest'ultime sembrano mimare delle vere e proprie isoipse). Di notevole pregio scientifico sono: la deformazione dell'impianto urbano a Sud-Est dovuta alle interferenze fluviali avvenute in età post-romana [7]; la precisione con cui sono tracciate e collocate le barre di meandro; i diffusi processi erosionali che coinvolgono le sponde concave dei meandri, causati dall'accrescimento delle barre laterali; la rappresentazione simbolica di oggetti e strutture presenti sulla carta. I simboli, la più o meno marcata fittezza delle linee tracciate a penna, la diversità di forma delle diverse anse dei meandri rendono questa carta dinamica, evidenziando il processo morfoevolutivo dei meandri, processo ben compreso da Leonardo e, attraverso questa Mappa, tramandato ai posteri.

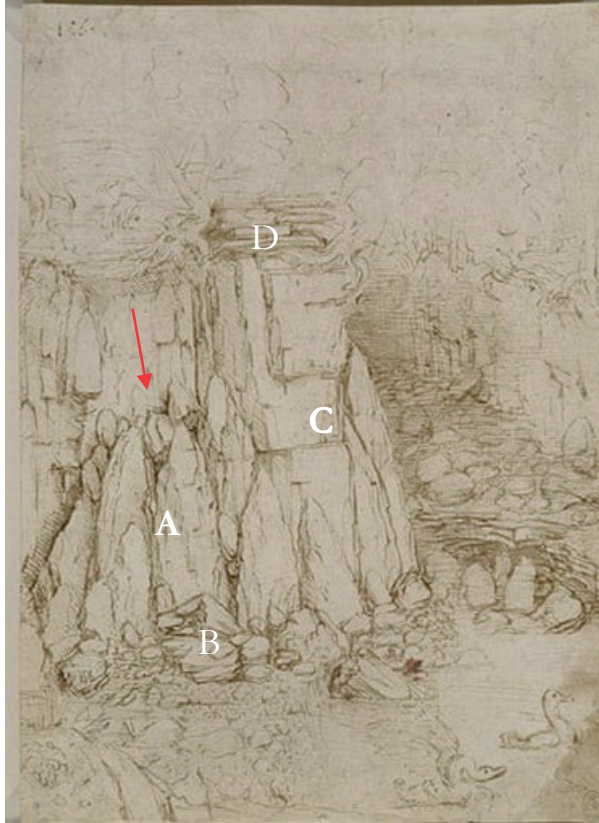


*Figura 4. Mappa d'Imola e i meandri del Fiume Santerno (1502) Royal Library, Windsor*

#### 4. LEONARDO DA VINCI E LE FRANE

Leonardo si è anche occupato di processi geomorfologici e di modellamento del rilievo e del ruolo che l'acqua svolge come agente modellatore. Emblematico a tal proposito è il suo celeberrimo aforisma: *l'acqua disfa li monti e riempie le valli e vorrebbe ridurre la Terra in perfetta sfericità, s'ella potesse* (CA, f. 185, vc). In questi studi si è occupato di fenomeni erosionali, di piogge intense, di alluvioni e di frane come agenti modellatori del paesaggio. In merito alle frane, Leonardo si è anche occupato di cause scatenanti e di interventi di consolidamento. Nicola Casagli, in una conferenza tenuta in occasione del 500° anniversario della morte di Leonardo, ha parlato delle frane che storicamente si generano sulla Collina di Monte alle Croci a Firenze e del ruolo avuto da Leonardo nell'individuazione delle cause e degli interventi in occasione di un importante evento di frana del 1499 [8]. Per quanto concerne le frane di Monte alle Croci (Firenze), queste sono storicamente note e legate essenzialmente a due fattori scatenanti: lo scalzamento al piede in corrispondenza di alcune cave di terreni argillosi disposti a franapoggio; lo spargimento selvaggio delle acque sul versante per l'inadeguatezza della rete fognaria [9]. A seguito della frana che coinvolse nel 1499 la collina, *l'Arte di Calimala* nominò una commissione tecnica composta da *Leonardo da Vinci, da Giuliano da Sangallo, da Jacopo del Pollaiuolo, da Filippo Legnaiuolo e da Simone del Caprino, Giunta Maestro dell'Arte di Calimala*. In un documento dell'Archivio di Stato di Firenze, datato 1499, è riportato l'esito dei lavori della commissione [8]. Leonardo da Vinci ebbe a dichiarare: *quanto a' S. Salvatore, et a' rimedi di quello secondo ha dato il disegno e per quello si vede da' mancamenti dell'edifitij, e dall'acque, che vanno tra' falde delle pietre in sino dove si fanno i mattoni, e quivi in parte sono tagliate le falde, e quella parte dell'edifitio, dove sono tagliate le falde, et il mancamento, e che rifendendo, e tagliando le falde si rimetterebbe. E tener nete le fogne*. Leonardo con grande perizia ed esperienza aveva correttamente diagnosticato il problema ed individuato la soluzione [8, 9].

In un recente lavoro, Margottini [10] evidenzia in un celebre disegno leonardiano, *il Burrone Roccioso* (Figura 5), chiare evidenze di un movimento di massa, riconducibile ad uno scivolamento di roccia che evolve a fenomeni di crollo, che ha interessato una formazione rocciosa massiva dura molto fessurata, su cui poggia una formazione più tenera stratificata (Figura 5).



*Figura 5. Il Burrone roccioso (1480 – 1481, The Royal Collection, Castello di Windsor). La freccia rossa indica la superficie di scorrimento. A: corpo di frana, B: macereto di frana; C: roccia massiva; D: roccia tenera stratificata.*

Leonardo, quindi, conosceva bene i meccanismi di frane, dagli scivolamenti ai crolli. Anche nel *Battesimo di Cristo* è verosimilmente presente una frana: infatti, l'acquifero della sorgente, di cui si è già parlato, è costituito da blocchi arenacei delimitati da grosse fratture scivolati e crollati dalla parete retrostante e accatastati su un balconcino di roccia (Figura 6). Il movimento di questi blocchi è comprovato dalla diversa laminazione presente nella balza rocciosa: a giacitura orizzontale nella parte inferiore di balza stabile, a giacitura verticale nei blocchi crollati; da alcuni blocchi ruotati in leggera contropendenza.



Figura 6. Il Battesimo di Cristo. Particolare. La freccia indica i blocchi fessurati e crollati dalla parete retrostante; le stelle indicano i blocchi ruotati in leggera contropendenza.

## 5. RIFERIMENTI

[1] AA VV (2018). *L'acqua microscopio della natura. Il Codice Leicester di Leonardo da Vinci*. A cura di P. Galluzzi, 399 pp, Giunti Ed).

[2] J.P. Richter. *The notebook of Leonardo da Vinci*, New Yrk, Dover Pubbls, vol. II, 1939

[3] G. De Lorenzo. *Leonardo da Vinci e la Geologia*. 195 pp, Zanichelli ed. 1920

[4] A. Cigna. *The Flow rate of the Fonte Pliniana (Como, Italy): two thousands years of data*. *Acta Carsologica*, vol. 37, pp 95 – 100, 2008

[5] G.B. Vai. *I viaggi di Leonardo lungo le valli romagnole: riflessi di geologia nei quadri, disegni e codici*. In: Pedretti C (ed), *Leonardo, Machiavelli, Cesare Borgia*. Arte, storia e scienza in Romagna, 2003

[6] D. Alexander. *Leonardo da Vinci and fluvial geomorphology*. *American Journal of Science*. Vol. 282, pp 735 – 755, 1982

[7] G.B. Vai. *Leonardo, la Romagna e la Geologia*. In *Romagna: vicende e protagonisti*, pp 126 – 156, 1986

[8] N. Casagli. *Leonardo da Vinci, La storia della prima relazione geologica. Conferenza 500° Anniversario della morte di Leonardo da Vinci*, Firenze, maggio 2019.

[9] [ P. Canuti, N. Casagli, R. Fanti, G. Agostini, C. Margottini- *Natural hazards and cultural heritage in Florence: the slope instability of Monte alle Croci*. *Giornale di Geologia Applicata*, vol. 1, pp 123 – 130, 2005.

[10] C. Margottini. *Leonardo da Vinci and landslides*. *Landslides Journal*, Springer ed., 2019.