



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2019 00262

(22) Data de depozit: 24/04/2019

(41) Data publicării cererii:  
27/11/2020 BOPI nr. 11/2020

(71) Solicitant:  
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE  
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU  
OPTOELECTRONICĂ - INOE 2000,  
STR.ATOMIȘȚILOR NR.409, MĂGURELE,  
IF, RO

(72) Inventatori:  
• ANGHELUȚĂ LAURENȚIU MARIAN,  
BULEVARDUL ALEXANDRU OBREGIA,  
NR.2B, BL.2B, SC.1, ET.10, AP.56,  
SECTOR 4, BUCUREȘTI, B, RO;  
• RĂDVAN ROXANA, STR.BABA NOVAC,  
NR.17, G 13, SC.1, AP.20, SECTOR 3,  
BUCUREȘTI, B, RO

(54) **PROCEDEU ECONOMIC DE INGINERIE INVERSĂ  
PENTRU STUDIUL OBIECTELOR TEXTILE DE PATRIMONIU,  
PE BAZA URMELOR IMPRIMATE ÎN CERAMICĂ**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un procedeu de inginerie inversă pentru studiul obiectelor textile de patrimoniu, pe baza urmelor imprimate în ceramică. Procedeu conform invenției constă în generarea de modele digitale 3D cu ajutorul fotogrametriei, care necesită înregistrarea de fotografii digitale astfel încât fiecare punct al suprafeței digitizate să fie redat din cel puțin 3 unghiuri, iar din modelul digital 3D al suprafeței care conține amprenta obiectului de interes, se extrage amprenta menționată care este ulterior transformată într-un obiect digital 3D, de sine stătător.

Revendicări: 2  
Figuri: 2

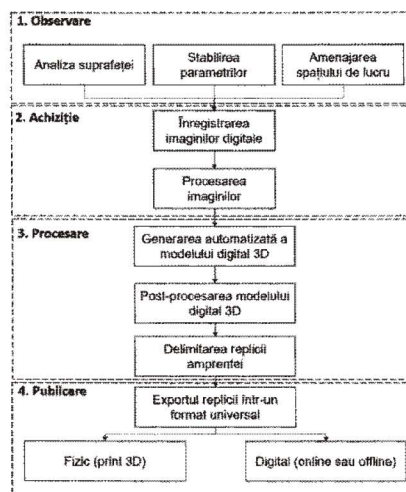
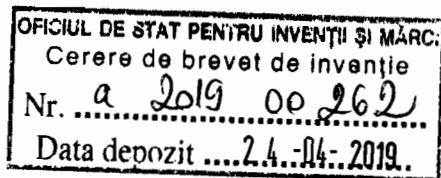


Fig. 1

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).





## Titlu

*Procedeu economic de inginerie inversă pentru studiul obiectelor textile de patrimoniu, pe baza urmelor imprimate în ceramică*

## Domeniu tehnic

*Optoelectronică*

## Stadiul tehnicii

Este cunoscut conceptul de inginerie inversă care are ca scop reconstrucția unui obiect fizic construit de om, prin analiza și reproducerea sub-componentelor acestuia atunci când lipsesc informații despre ele. Procedeu este astăzi aplicat atât în industrie și arhitectură cât și în IT.

În arheologie este folosită metoda mulajului pentru a se obține amprenta unui relief tridimensional imprimat în ceramică. Aceste mulaje sunt realizate utilizând materiale precum silicon, pastă de modelaj/lut polimeric, rășini sau chiar lut. Procedeu presupune aplicarea fizică a materialului utilizat direct pe suprafața ce conține imprimeul tridimensional care se dorește a fi reconstruit. Mulajul astfel obținut este uscat, prelucrat și finisat devenind astfel o replică fizică fidelă a obiectului care a lăsat urma în suprafața inițială.

Metoda mulajului prezintă câteva **dezavantaje majore**: din cauza presiunii fizice la care este supus materialul de mulaj, crește riscul deteriorării suprafeței originale; fidelitatea redusă detaliilor copiate; irepetabilitatea procesului; urme chimice; unicitatea replicii implică repetarea procedurii pentru realizarea altor copii, ceea ce duce la creșterea semnificativă a riscului deteriorării suprafeței originale.

Cele mai utilizate metode non-contact de analiză și reproducere digitală a suprafețelor fizice la nivel mondial, astăzi, sunt scanarea cu fascicul laser și scanarea cu lumină structurată. Aceste metode au prețuri prohibitive pentru instituțiile muzeale și o versatilitate de utilizare redusă.

Fotogrammetria digitală este o metodă cunoscută de măsurare precisă și înregistrare a coordonatelor tridimensionale ale unei suprafețe fizice reale, utilizând imagini digitale ale acesteia înregistrate într-o anumită succesiune cu un grad de suprapunere între ele. Sunt cunoscute și avantajele utilizării acestei metode în special în domeniul Patrimoniului Cultural, fiind recunoscută la nivel mondial.

Un exemplu de aplicare a acestui concept, dar cu ajutorul scanării cu fascicul laser, este obținerea în premieră a unui portret digital 3D, neștiut până în acel moment, al lui James Watt după scanarea unei matrițe din ghips găsite în depozitul unui muzeu.

## Referințe bibliografice pentru stadiul tehnicii

- *Legea 422/2001 privind protejarea monumentelor istorice, Art. 23, (2) litera b).*
- *Historic England 2017 Photogrammetric Applications for Cultural Heritage. Guidance for Good Practice. Swindon. Historic England*
- *Historic England 2018 3D Laser Scanning for Heritage: Advice and Guidance on the Use of Laser Scanning in Archaeology and Architecture. Swindon. Historic England.*

- Hess, M; (2016) *James Watt - a VR encounter with the engineer*. In: Papadimitriou, I and Prescott, A and Rogers, J, (eds.) *Engineering the Future. As part of V&A Digital Design Weekend 2016*. (pp. 98-101). Uniform Communications Ltd.: United Kingdom

### **Problema tehnică**

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția este o modalitate economică, versatilă și non-contact, aplicabilă în orice mediu, de a obține replici digitale, la scară, ale artefactelor arheologice din material textil, care nu mai există, dar care și-au lăsat amprente imprimate fizic în material ceramic. O altă problemă tehnică pe care acest procedeu îl rezolvă este eliminarea riscurilor de deteriorare a morfologiei și cromaticii suprafeței care conține urma artefactului. Prin obținerea unei replici digitale a obiectului care nu mai există, se pot realiza cu tehnologii de imprimare 3D multiple replici fizice care să ajute la o mai bună înțelegere a tehnicii specifice de realizare a obiectului respectiv, fără a fi necesară manipularea obiectului existent pentru realizarea acestora.

### **Expunerea invenției**

Invenția se referă la un procedeu versatil și non-contact de obținere a unei replici digitale tridimensionale ale artefactelor de patrimoniu din material textil care astăzi nu mai există fizic dar care și-au lăsat amprenta în reliefurile unor suprafețe ceramice. Procedeu implică utilizarea conceptului de inginerie inversă prin generarea de modele digitale 3D cu ajutorul unei metode economice (fotogrammetrie) care necesită doar înregistrarea de fotografii digitale astfel încât fiecare punct al suprafeței digitizate să fie redată din cel puțin 3 unghiuri. Din modelul digital 3D al suprafeței care conține amprenta obiectului care nu mai există se extrage această amprentă și este transformată într-un obiect digital 3D solid de sine stătător.

În continuare sunt prezentate etapele de realizare ale acestui procedeu, așa cum sunt reprezentate și în Figura 1.

#### **1. Observare**

##### **a. Analiza suprafeței**

În acest prim pas, suprafața este documentată fotografic pentru marcarea **scalei** de lucru utilizată în procesarea modelului digital fotogrammetric 3D. Tot acum este stabilită și suprafața ce urmează a fi înregistrată.

##### **b. Stabilirea parametrilor de achiziție**

Nivelul de precizie al procesărilor 3D fotogrammetrice sunt dictate de rezoluția spațială a pixelilor din imaginile fotografice înregistrate. Rezoluția spațială a pixelilor este dată de rezoluția imaginilor digitale și distanța de fotografiere față de suprafață. Modelul digital 3D trebuie să reprezinte fidel cele mai mici detalii fizice observabile ale suprafeței de înregistrat. Ținând cont de faptul că procesul fotogrammetric de reconstrucție a unui punct tridimensional presupune înregistrarea acestuia din cel puțin 3 unghiuri diferite (3 fotografii) și de dimensiunea celor mai mici detalii care se doresc a fi înregistrate se obține astfel numărul de fotografii și nivelul de suprapunere dintre ele necesar.

În funcție de natura și dimensiunea obiectului pot fi abordate două tipuri de strategii de fotografiere: concentric în jurul obiectului sau un traseu care urmărește paralel suprafața obiectului.

În cadrul acestui pas sunt stabiliți următorii parametri: *distanța de lucru, rezoluția spațială a modelului 3D, numărul de fotografii necesare și strategia de fotografiere, obiectivul optic al camerei foto, parametrii de operare ai camerei.*

### c. Amenajarea spațiului de lucru

Fotogrammetria fiind o metodă pasivă de înregistrare a unei suprafețe tridimensionale, calitatea rezultatelor acesteia este dependentă de calitatea imaginilor fotografice obținute. Din acest motiv amenajarea spațiului de lucru este o etapă deosebit de importantă în acest proces.

În cadrul acestei etape se asigură iluminarea egală a întregii suprafețe ce urmează a fi înregistrate. Se utilizează surse de lumină continue sau flash-uri și modificatoare de lumină (difuzie, reflexie) astfel încât să se elimine umbrele puternice.

În funcție de strategie de fotografiere stabilită în pasul anterior se asigură spațiul de operare necesar în jurul obiectului sau montarea unei mese rotative (după caz).

## 2. Achiziție

### a. Înregistrarea imaginilor digitale

Urmărind condițiile impuse în prima etapă și având spațiul de lucru amenajat în mod adecvat acestor condiții, sunt setați parametrii de înregistrare ai camerei foto digitale așa cum au fost stabiliți (deschiderea diafragmei, sensibilitatea ISO a senzorului, timpul de expunere).

Sunt înregistrate imagini conform strategiei stabilite cu nivelul de suprapunere propus. Imaginile trebuie să fie clare, bine expuse și fără efect de mișcare. Pentru scalarea modelului 3D reconstruit se introduce o scară de măsură lângă obiect dar cât să fie cuprinsă în setul de imagini.

Pentru simplificarea și eficientizarea următorului pas, imaginile sunt înregistrate în format RAW, care permite o largă intervenție asupra parametrilor calitativi ai imaginii în faza de procesare.

Imaginile sunt păstrate într-un director pe discul de stocare.

### b. Procesarea imaginilor

În această etapă imaginile digitale obținute sunt procesate cu ajutorul unor programe software speciale. În cadrul acestor procesări sunt eliminate pe cât se poate umbrele și reflexiile speculare puternice, întrucât acestea vor afecta negativ reconstrucția 3D a zonelor respective. Modificarea raportului de aspect al imaginii va duce la invalidarea acesteia în procesarea 3D a întregului set de imagini. Alte modificări permise sunt reducerea nivelului de zgomot, expunerea, evidențierea detaliilor, contrast sau temperatură de culoare.

Imaginile procesate sunt exportate în format JPEG sau TIF pe unitate de stocare, într-un director dedicat.

## 3. Procesare

### a. Generarea automatizată a modelului digital 3D

Metoda fotogrammetrică de reconstrucție digitală 3D a unei suprafețe fizice este realizată astăzi cu ajutorul unor programe speciale care folosesc algoritmi automatizați de calibrare și aliniere a imaginilor digitale 2D din care extrag coordonate 3D de puncte corespunzătoare suprafeței reliefului fizice înregistrate. Reconstrucțiile au drept rezultat nori denși de puncte sau mesh-uri 3D cu sau fără textură foto-realistă. Un mesh 3D este alcătuit din puncte care sunt unite între ele de poligoane de același fel. Acestea pot fi triunghiuri sau pătrate dar în terminologia de specialitate sunt denumite fețe (sau simplu poligoane). Modelul 3D obținut în această etapă are structura unei "coji" sau a unei "scoici" (*shell* în literatură). Adică este compus doar din poligoane plane unite între ele (Figura 2 – B). Aceste poligoane sunt caracterizate, printre altele, de vectori perpendiculari pe planul fiecăreia dintre ele, cunoscut sub numele de *normală*. Direcția acestui vector dictează fața care va fi vizibilă în programele de vizualizare 3D a meshului (Figura 2 – B'). Pentru replicile digitale 3D obținute prin digitizare (scanare sau fotogrammetrie) fețele vizibile sunt întotdeauna îndreptate înspre sursa

de înregistrare. Spatele acestora nu poate fi redat vizual, ele apărând transparente când sunt vizualizate din direcția opusă normalei.

#### **b. Post-procesarea modelului digital 3D**

Mesh-ul 3D reprezentând reconstrucția digitală a suprafeței înregistrate este generat în format brut, fiind compus din sute de milioane sau chiar miliarde de poligoane. O astfel de structură înseamnă o dimensiune foarte mare pe disc și prin urmare necesită resurse foarte mari computaționale doar pentru vizualizarea și manipularea digitală a modelului 3D. Din acest motiv după încheierea procesului de reconstrucție digitală 3D urmează pasul de **simplificare** (reducere sub 10%) a numărului de poligoane care compun modelul 3D, cu păstrarea fidelă a reliefului.

Un alt pas în această etapă este reducerea asperităților și “șlefuirea” suprafețelor drepte. Post-procesarea este realizată fie în programul de procesare fotogrammetrică fie în alte pachete software comerciale sau gratuite.

#### **c. Obținerea “pozitivului” obiectului care a lăsat amprenta**

În acest pas se începe cu delimitarea precisă a formei replicii amprente. Acest lucru este realizat în programe software de editare și modelare 3D, CAD (proiectare asistată pe calculator) sau chiar în programul de procesare fotogrammetrică. După delimitare, se aplică o funcție de inversare a normalelor poligoanelor constitutive mesh-ului 3D. Această funcție poate fi aplicată în majoritatea programelor de editare și modelare 3D. Rolul acestei funcții este de a transforma “negativul” înregistrat în “pozitiv” (Figura 2 – C). După aplicarea acestei funcții suprafața vizibilă rezultată este chiar replica obiectului care a lăsat amprenta în suprafața înregistrată (Figura 2 – D).

### **4. Publicare**

#### **a. Format digital (în mediu online sau offline)**

Pentru utilizarea sau prezentarea modelului obținut acesta se exportă din programul de editare/procesare într-un format compatibil cu majoritatea programelor dedicate interpretării, modelării și prezentării modelelor 3D. Astfel de formate, astăzi, sunt .OBJ (*wavefront technologies*), .STL (*stereolithography*) sau .PLY (*polygon file format*). În format digital, acesta este păstrat în folder dedicat pe spațiul de stocare. Acesta poate fi reutilizat pentru diferite scopuri: vizualizare, măsurare sau alte studii aprofundate. Vizualizările pot fi prezentate online pe platforme web dedicate.

#### **b. Format fizic (prin imprimare 3D)**

Modelul digital obținut poate fi transpus în lumea reală prin intermediul tehnologiilor de imprimare 3D cu orice tip de material. Acesta poate fi realizat la scară 1:1 sau la scale mai mari pentru o mai bună înțelegere a anumitor detalii.

### **Prezentarea avantajelor**

Acest procedeu se evidențiază prin mai multe avantaje. Avantajul implicit al utilizării acestei metode este obținerea de informații vizuale, măsurabile, în format digital, despre un obiect sau un procedeu tehnologic/artistic despre care nu mai există informații.

Un alt avantaj major al acestui procedeu este faptul că utilizează o metodă de digitizare tridimensională non-contact, un aspect critic în domeniul conservării obiectelor de patrimoniu cultural. Fiind vorba de o metodă imagistică nu implică utilizarea de substanțe sau alte materiale care ar putea avea efecte secundare asupra suprafeței înregistrate. Procedeu poate fi aplicat cu parametri diferiți de oricâte ori, fapt ce subliniază un alt avantaj al acestuia, anume repetabilitatea.

În comparație cu metodele tradiționale avantajul acestui procedeu este faptul că “pozitivul” obținut, fiind în format digital, poate fi multiplicat prin imprimare 3D în oricâte exemplare fără a mai fi necesară manipularea și creșterea riscului de deteriorare a obiectului original.

În comparație cu alte procedee bazate pe tehnologii moderne concurente (scanare cu fascicul laser sau cu lumină structurată) acest procedeu este bazat pe utilizarea fotogrammetriei, o metodă care necesită costuri de implementare extrem de mici și care are un nivel de abordare foarte accesibil. Un alt avantaj specific metodei de digitizare utilizate este faptul că acest procedeu poate fi aplicat în orice tip de mediu, chiar și subacvatic.



## Revendicări

1. Procedeu de inginerie inversă pentru obținerea replicii digitale tridimensionale a unui obiect de patrimoniu care nu mai există, dar care și-a lăsat amprenta fizică imprimată pe suprafața altui obiect, **caracterizat prin aceea că utilizează** o tehnică economică, non-contact, de înregistrare digitală a reliefului tridimensional al suprafeței cu ajutorul fotogrammetriei, fără a pune în pericol integritatea suprafeței înregistrate, - **și prin aceea că** facilitează publicarea rezultatului în mediu interactiv online sau replicarea fizică a acestuia prin intermediul tehnologiilor de imprimare 3D.

2. Metodă de documentare a obiectelor textile care nu mai există sau despre care nu sunt informații, dar care și-au lăsat amprentele pe suprafața unui alt obiect, conform revendicării numărul 1, **caracterizat prin aceea că** rezultatul documentării este un model digital tridimensional care permite analiza și studiul tehnologiei de țesere, tragere în fir de la epoca respectivă.



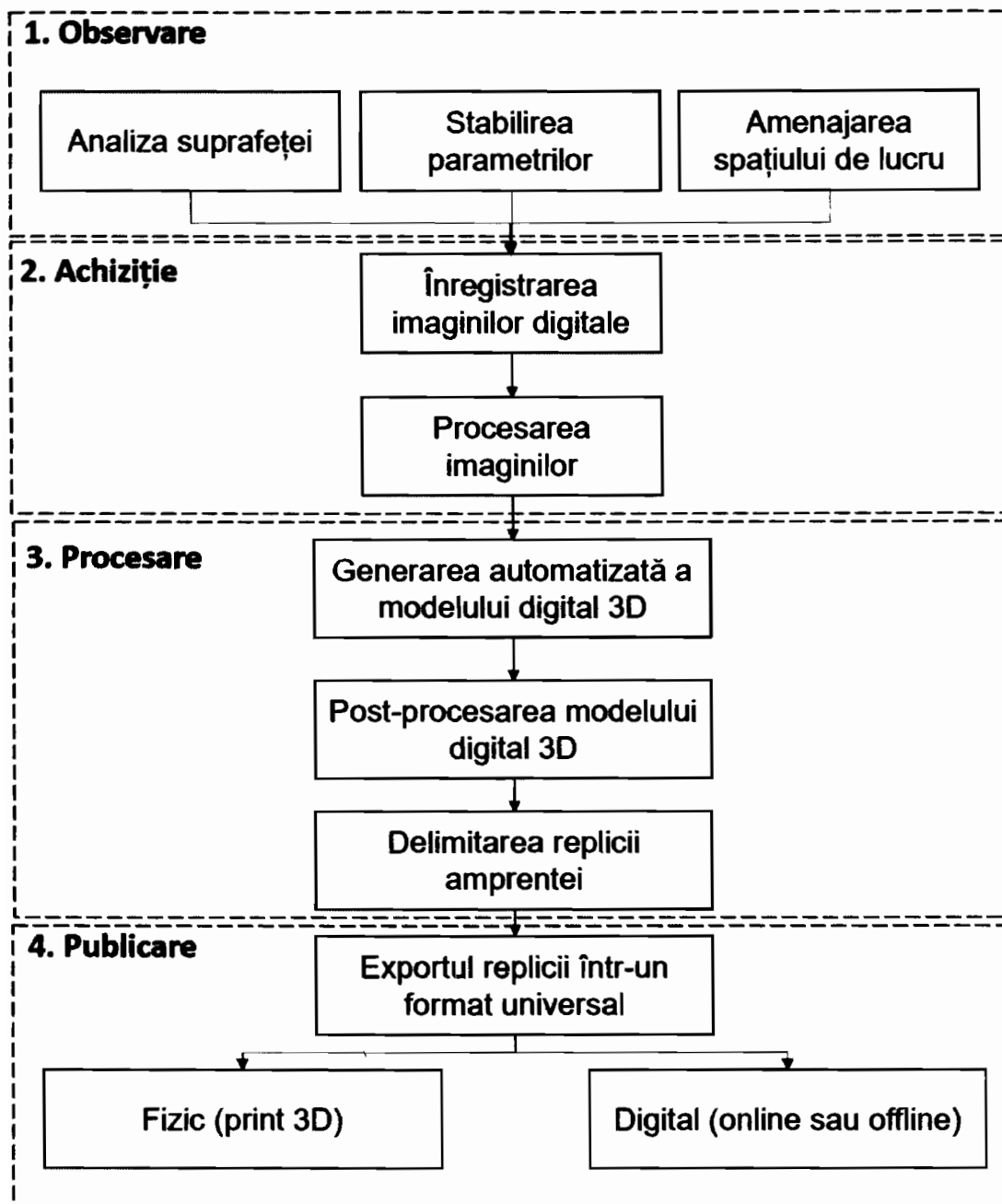
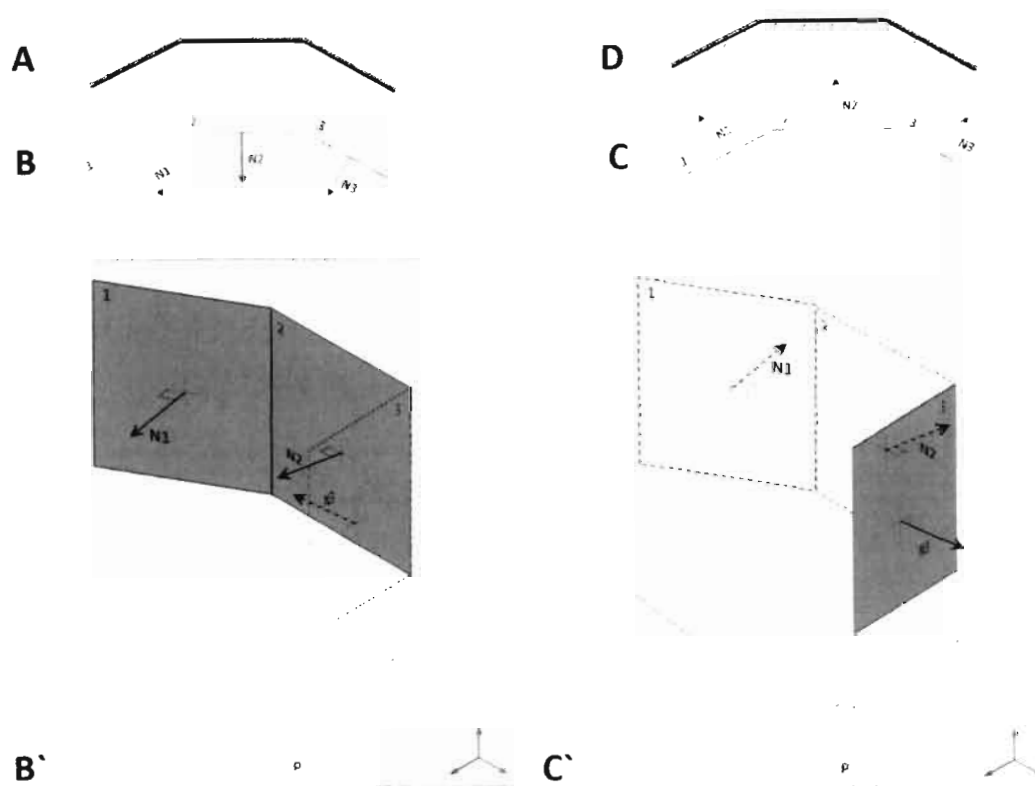


FIGURA 1 – Etapele procedurii de reconstrucție digitală 3D





**FIGURA 2** Procesul de obținere a reliefului obiectului care a lăsat amprenta în suprafața reală

A – relieful fizic, real, al suprafeței înregistrate care conține amprenta unui alt obiect care nu mai există

B – relieful digital al reconstrucției 3D a suprafeței fizice cu marcarea normalelor poligoanelor (1, 2, 3) constitutive

B' – vizualizare din punctul P în spațiu 3D a celor trei poligoane. Poligoanele hașurate sunt vizibile din acest punct.

C – relieful digital al reconstrucției 3D a suprafeței fizice după inversia normalelor

C' – vizualizare din punctul P, în spațiu tridimensional, a celor trei poligoane după inversia normalelor. Poligonul hașurat este vizibil din acest punct.

D – relieful digital 3D al obiectului care a lăsat amprenta

1, 2, 3 – fețe (poligoane) constitutive ale mesh-ului 3D

N1, N2, N3 – normalele la suprafețele poligoanelor

P – punct de vizualizare în spațiu tridimensional