

I caratteri paesaggistici nei giardini all'italiana: *Machine Learning* e *Computer Vision* per la ricerca delle simmetrie

Amedeo Ganciu

Abstract

Tra il 1304 e il 1309 Pietro de'Crescenzi redige l'*Opus ruralium commodorum*, forse il primo trattato agronomico del periodo medioevale, nel quale è possibile trovare una prima classificazione tassonomica dei giardini in base alla rilevanza sociale del loro proprietario. Le regole formali del giardino all'italiana sono rimaste immutate fino al XVIII secolo, ma purtroppo, restano poche testimonianze "originali" di questi gioielli, perché distrutti, abbandonati o modificati nel corso dei secoli; molto spesso la prova della loro esistenza è rintracciabile in raffigurazioni artistiche o nei trattati dell'epoca. In questa ricerca si approfondiscono i caratteri paesaggistici del giardino italiano, e si sperimentano alcuni algoritmi automatizzati di machine learning per la ricerca delle simmetrie tra gli elementi vegetali e decorativi che lo caratterizzano. Nonostante il rilevamento automatizzato delle simmetrie abbia già dimostrato applicabilità in diverse discipline, sta recentemente mostrando un nuovo e ancora non del tutto esplorato potenziale nell'arte attraverso lo sviluppo della computer vision; tuttavia, alcuni aspetti procedurali e algoritmici presentano numerose sfide e problematiche. Per questo motivo, a partire da un esame dello stato dell'arte delle attuali soluzioni di imaging detection, si valuta una loro applicabilità nella ricerca delle simmetrie all'interno delle rappresentazioni artistiche dei giardini all'italiana.

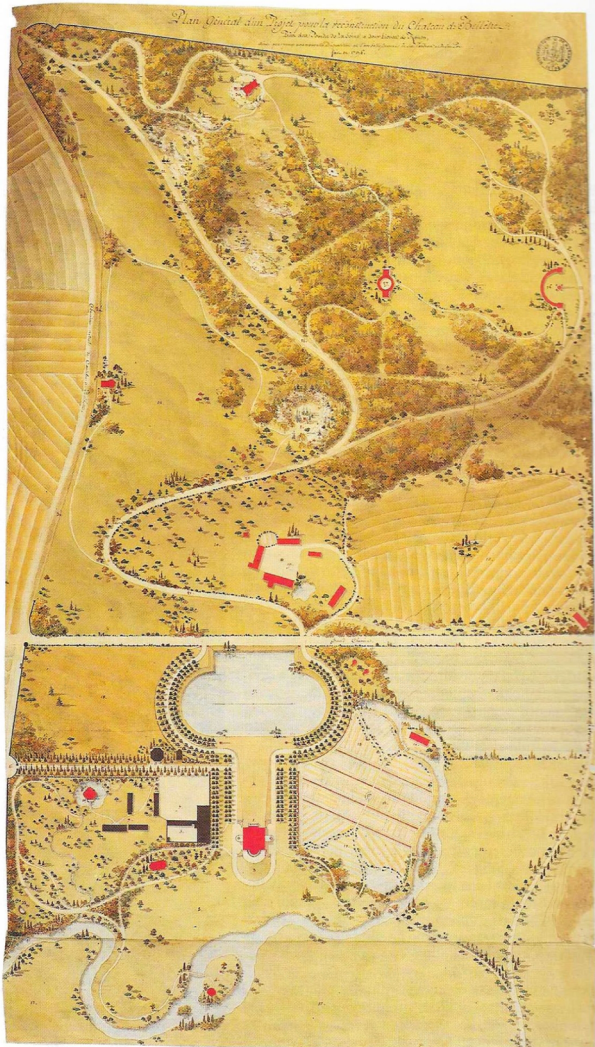
Parole chiave: giardini rinascimentali, simmetria, machine learning, computer vision, Python.

Introduzione: i caratteri del giardino all'italiana

Il giardino rinascimentale italiano o anche più semplicemente il giardino all'italiana, può considerarsi come la fase *climax* dell'evoluzione concettuale e anche della tecnica agronomica dell'arte dei giardini. L'immagine emblematica del giardino italiano si compone di geometrie formali e simmetrie create nella ricerca dell'equilibrio tra viali e aiuole tracciate sul terreno realizzando bordure di siepi, alberature artistiche, spalliere e pergole vitate, spesso accompagnate da peschiere o meccanismi scenici come i giochi, fontane o orologi ad acqua. Sebbene la codifica formale del giardino all'italiana si identifica cronologicamente nell'Italia rinascimentale, molti dei suoi caratteri precursori si ritrovano nel periodo cortese della Francia del XII secolo, e quasi contemporaneamente nella riscoperta

della villa campestre italiana. Nella Francia medioevale si rintracciano alcune visioni alternative, laiche e cortesi, del giardino o *verger* nella lingua francese, che si distaccano significativamente dalla cultura degli orti monastici [Tosco 2018] profondamente orientati più a scopi produttivi-botanici, sviluppati su grandi possedimenti terreni e che assomigliano per lo più a dalle aziende agricole [Germano 2022]. Anche nella letteratura è possibile rintracciare un evidente richiamo ad immagini e spazi, tra cui figura il giardino investito di nuove funzioni e valori. Il termine francese *verger* deriva da quello latino *viridarium*, ossia un luogo di amore, piacere, avventura, ricco di simboli anche di carattere magico, nel quale possono avvenire eventi stupefacenti, arricchito di fiori profumati, zampilli, alberi

Fig. 1. Planimetria di insieme per il parco del castello di Belletre in Normandia [Mosser, Teyssot 1999, p. 12].



ricchi di frutta [Kibler 1992]. Per esempio, nel racconto del XII secolo Conte de Floire et Blanchefeur, attribuito a Robert d'Orbigny, si rappresenta una significativa testimonianza di questo periodo e del giardino, nel quale si narrano le vicissitudini di due innamorati, che avvengono all'interno della cornice di tre verger: il primo legato al primo e giovanile innamoramento, il secondo luogo dell'inganno e della presunta morte dell'amata, il terzo con espliciti richiami al giardino dell'emiro di Babilonia, esotico e lontano, dove finalmente si svolge il lieto fine della storia [Tosco 2018]. L'organizzazione funzionale e spaziale del giardino aristocratico tardomedievale si arricchisce della presenza del parco, inteso come un'area recintata, forestale (da *foris*, termine nato proprio in questo periodo per indicare aree al di fuori dell'area abitata), di notevoli estensioni, riservato a scopi venatori quale attività sociale e ludica per la ricca aristocrazia, adiacente al castello o alla villa (fig. 1).

A cavallo tra il XIII e il XIV secolo la diffusione del neologismo "parco" si diffonde con carattere pandemico in tutta Europa, e le fonti documentali indicano la loro creazione principalmente in Francia e Inghilterra ma anche nell'Italia settentrionale, per esempio con il "barcho" del castello di Pavia realizzato dai Visconti dopo la conquista della città nel 1359 [Azzi Visentini 2004]. In parallelo allo sviluppo sempre più complesso ed elegante del giardino cortese, che continua ad avere nell'ambiente aristocratico francese il suo centro culturale gravitazionale, negli ambienti culturali italiani rifiorisce il fascino per la "vita" campestre, metafora di riposo, rifugio e virtù [Sberlati 2004], non solo negli ambienti aristocratici, ma anche tra gli intellettuali e i possidenti più colti. In considerazione del mite clima mediterraneo, della bellezza dei luoghi non può sorprendere che l'Italia si sia affermata fin da subito come l'epicentro di questo fenomeno, del quale si trova riscontro nel più significativo trattato agronomico dell'epoca, l'*Opus ruralium commodorum*, (fig. 2) composto di dodici volumi redatti da Pietro de' Crescenzi tra il 1304 e il 1309 [Savastano et al. 1922]. Il trattato che si configura come una sorta di manuale di agronomia, oltre a discutere di pesca, enologia, malattie degli animali, tecniche di rotazione ed alternanza delle colture, e in generale della gestione dell'azienda agricola, esamina nel libro VIII lo studio del giardino come spazio di ricreazione e di benessere del proprietario [Sansovino 1522]. Più nel dettaglio, si illustra una sorta di tassonomia del giardino secondo il livello economico e sociale del

proprietario: il più semplice, appartenente ai ceti inferiori di ridotte dimensioni, solitamente di forma quadrata, con un erbario e un frutteto; un giardino più complesso tipico dei possidenti del ceto medio, caratterizzato da alcune strutture architettoniche d'arredo, ancora abbastanza semplici come pergole e padiglioni; infine, un livello più complesso appartenente ai ceti più elevati solitamente circondato da un muro, contiene spazi e funzioni diversificate, come frutteti, vivai e peschiere, giochi d'acqua, aree boscate popolate di animali e anche un palatium realizzato con materiali lignei e intrecci vegetali. La regione geografica storica dell'Etruria o, meglio, l'intera Toscana, considerata per molto tempo come l'area più dilettevole dell'intera Italia, diventa la cornice per diverse opere di Boccaccio, compreso il Decameron nel quale la compagnia dei ragazzi si ritrova all'interno di un "magico verziere", per ballare, cantare, raccontare novelle e vivere lietamente [Kem 1951; Usher 1989]. Il paesaggio toscano esaltato nell'umanesimo fiorentino trova nella famiglia Medici lo strumento per la sua consacrazione, a partire da Cosimo il Vecchio con la sistemazione delle tenute del Mugello, in particolare nelle ville di Careggi, di Cafaggiolo e del Trebbio, probabilmente sotto la direzione di Michelozzo. Probabilmente tutte avevano *horti* all'interno dei quali il mecenate ospitava feste e si diletta in una cornice di serenità; tuttavia, stabilire

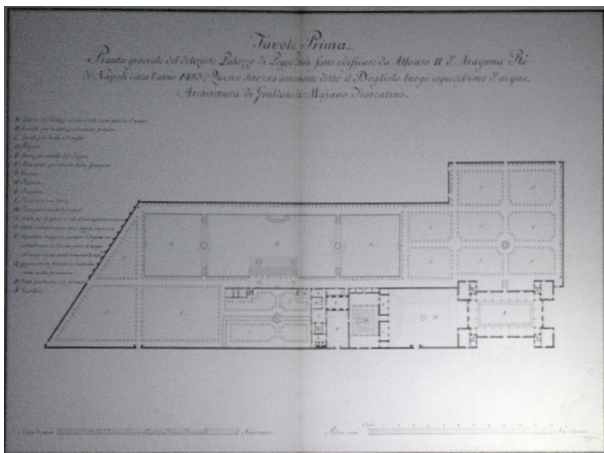
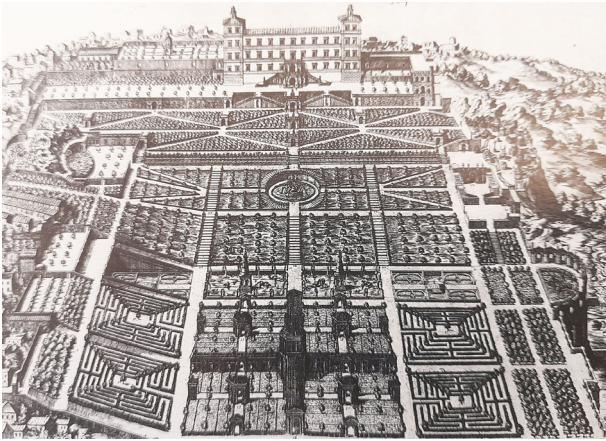
l'esatta sistemazione ornamentale del giardino all'epoca di Cosimo resta un problema per via della scarsità delle fonti documentali [Tosco 2018]. Probabilmente i giardini che hanno conservato con maggiore coerenza i caratteri originali sono quelli della Tenuta del Trebbio [Fрати 2015], separati dalla residenza e delimitati lungo i lati lunghi da due pergolati paralleli sul quale si sviluppano filari di viti e al centro una scacchiera di aiuole di forma quadrangolare. La rappresentazione più antica di questo impianto risale alla fine del Cinquecento ed è contenuta nelle lunette vedutistiche del pittore fiammingo Giusto Utens [Agostini 2011]. I caratteri ormai consolidati del modello-giardino, con la presenza degli elementi vegetali, idraulici, architettonici e paesaggistici considerati obbligatori secondo i canoni del periodo si ritrovano nell'Alberti che per il loro allestimento detta alcune regole: la presenza di siepi di bosso, pericati che permetteranno di godere sia del sole che dell'ombra, la disposizione di allori, cedri, ginepri disposti secondo figure geometriche ad egual distanza e con angoli reciprocamente corrispondenti (fig. 3) o come era uso dire all'epoca *quinunx* [Tosco 2018]. Attraverso l'opera di Giovanni, secondogenito di Cosimo, si realizza il primo intervento di villa bucolica che si distacca dai precedenti caratteri castellani. La sua posizione è stata determinata esclusivamente da esigenze paesaggistiche; la villa e il giardino annesso furono, infatti, realizzati sul fianco della collina che affaccia sulla città di Firenze e per tale scopo furono eseguiti importanti lavori di sistemazione a terrazzamento. Il giardino di Fiesole si presenta secondo l'allestimento di Cecil Pinsent del 1915, e come per la maggior parte dei casi sono sopravvissuti ad oggi pochi elementi che possono suggerire quale fosse l'esatta disposizione architettonico ornamentale del Quattrocento. Il carattere forse più innovativo lo si può rintracciare nella realizzazione di due terrazze o, meglio, giardini pensili, immediatamente adiacenti all'edificio, sul fianco della collina studiate in modo da 'aprirsi' verso la vallata sottostante [Frommel 2006]. La contemplazione del panorama è un tema che si lega sempre più intimamente al giardino e la sistemazione su terrazzi in aree collinari o comunque caratterizzati da una morfologia pronunciata risulta essere una caratteristica sempre più ricorrente del periodo. L'esplosività della magnificenza dell'arte del giardino all'italiana cresce rapidamente, ma purtroppo alcuni di questi gioielli del paesaggio italiano sono definitivamente perduti, come la residenza di Poggioreale (fig. 4), la cui realizzazione si deve ad Alfonso

Fig. 2. Sommario e Capitolo primo dell'Opus ruralium commodorum di Crescentino tradotto per Sansovino [1522].



Fig. 3. Acquaforre/bulino dei Giardini di Tivoli realizzata da Etienne Du Pérac nel 1573 [Mosser, Teyssot 1999, p. 49].

Fig. 4. Planimetria della Villa di Poggioreale attribuita a Carlo Vanvitelli, Collezione di Lord Bute, Victoria & Albert Museum, London.



d'Aragona, Duca di Calabria e legittimo successore al trono di Napoli. Il progetto di Giuliano da Maiano con la partecipazione di Fra' Giocondo e Francesco di Giorgio prevedeva una sistemazione dei giardini che si sviluppano a partire dai fianchi della villa su terrazzamenti. Difronte la villa esisteva un giardino cruciforme in asse con l'ingresso che era popolato da aranci e altre piante da frutto con al centro una fontana. Muovendosi verso valle si incontrava un muro di recinzione nel quale si aprivano delle finestre a vento che permettevano la contemplazione del panorama. Sul fianco correva una grande peschiera divisa in vasche rettangolari e attraversata da passaggi con piattaforme e giochi d'acqua, tutto intorno ampi spazi verdi erano destinati al gioco della palla. L'allestimento del verde curato con la massima perizia era arricchito da infiorescenze con potature artistiche, statue e marmi pregiati [Frommel 1994]. Il giardino di Poggioreale si configurava quindi non più come un'appendice della villa, bensì ne costituiva un ambiente di pari dignità coordinato e coerente con la struttura architettonica dove ogni elemento, la sua disposizione nello spazio era curata per garantire il benessere della corte aragonese [Tosco 2018]. Si può quindi concludere che nell'Italia del Cinquecento, l'arte nella composizione dei giardini ha raggiunto un livello talmente elevato che la supremazia francese in questo settore, riconosciuta fino dal tardo medioevo, è contrastata dall'affermarsi anche a livello internazionale da quello che è ancora codificato come il giardino all'italiana.

Simmetria e architettura

La relazione tra matematica e architettura esiste probabilmente da sempre, almeno da quando esiste l'architettura [Salvadori 2015]; dalle applicazioni più semplici per definire lunghezze, superfici o volumi fino a quelle più complesse nel calcolo strutturale, lo strumento matematico ha sempre fornito un aiuto per migliorare la qualità latu sensu del paesaggio antropizzato [Mehaffy 2020], con una intensa produzione di teorie, proporzioni, scale, modelli [Padovan 2002]. Sebbene la possibilità di "migliorare" l'estetica sia qualche volta considerata da molti architetti e progettisti come una mera questione di gusto esclusivamente soggettivo, correlata ai propri obiettivi estetici individuali [Taylor 1994], diverse ricerche hanno già dimostrato la relazione tra qualità dell'ambiente e benefici psico-fisici per le persone [Cold 1998; Van den Berg 2003]; tuttavia,

ciò che ancora non è ben chiaro riguarda la forma che questi ambienti devono avere per produrre benessere [Mehaffy 2020]. Per esempio, Dosen et al. [2013], valutando l'ipotesi che alcune forme geometriche dell'architettura possano influenzare il benessere ma anche il sistema di preferenze dell'individuo cercano di sviluppare un adeguato apparato concettuale matematico per valutare le risposte percettive umane allo spazio. Ancora Hagerhall et al. [2004], indagano sulla geometria frattale degli ambienti naturali scoprendo che esiste una relazione

tra la preferenza e la geometria frattale e la sua dimensione, suggerendo che quest'ultima possa fornire una spiegazione per la connessione preferenza-naturalezza. Curiosamente, si può anche notare come lo storico tema delle simmetrie, che nell'architettura ha da sempre rappresentato un elemento caratterizzante in qualsiasi periodo e contesto geografico: dalla preistoria [Hodgson 2011], alle complesse strutture dell'antico Egitto [Rossi 2004], all'architettura dei teatri dell'antica Roma e il *De Architectura* di Vitruvio [Amadei 2015], passando per l'architettura

Fig. 5. Master Plan di Villa Lante (sinistra) e Villa d'Este (destra) riprodotto da Nieuwlandt, W. e dalla New York Botanical Garden con in evidenza gli assi dei giardini [Hu 2004, p. 82].

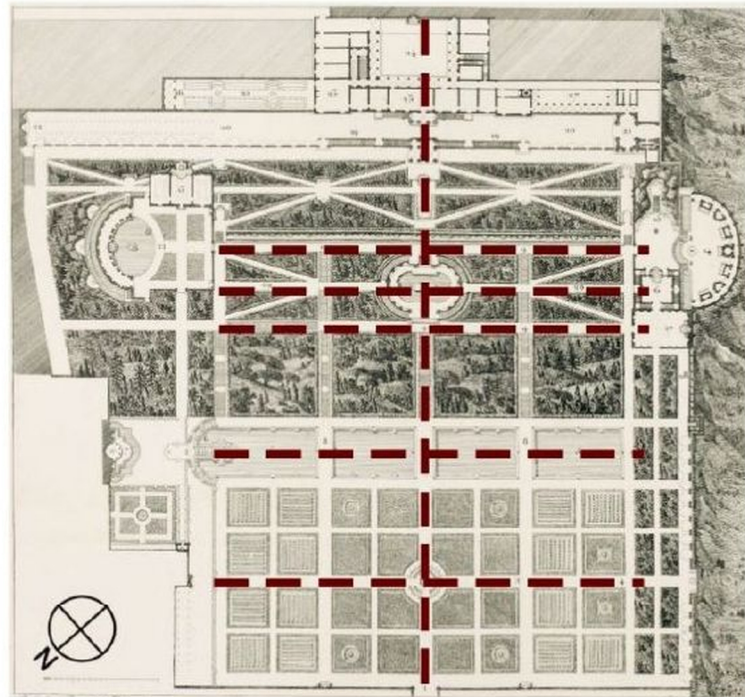
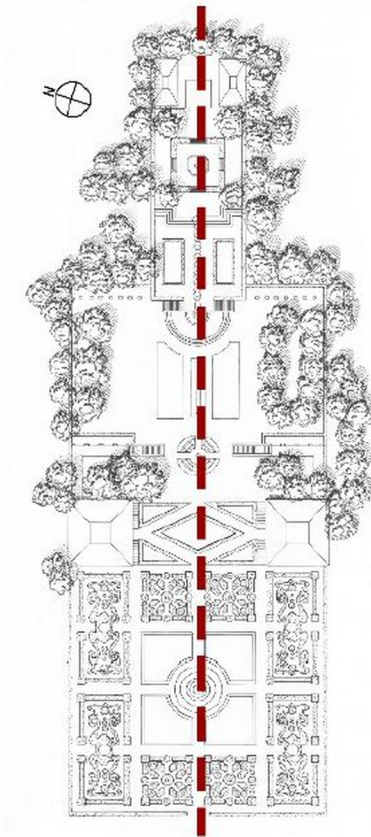
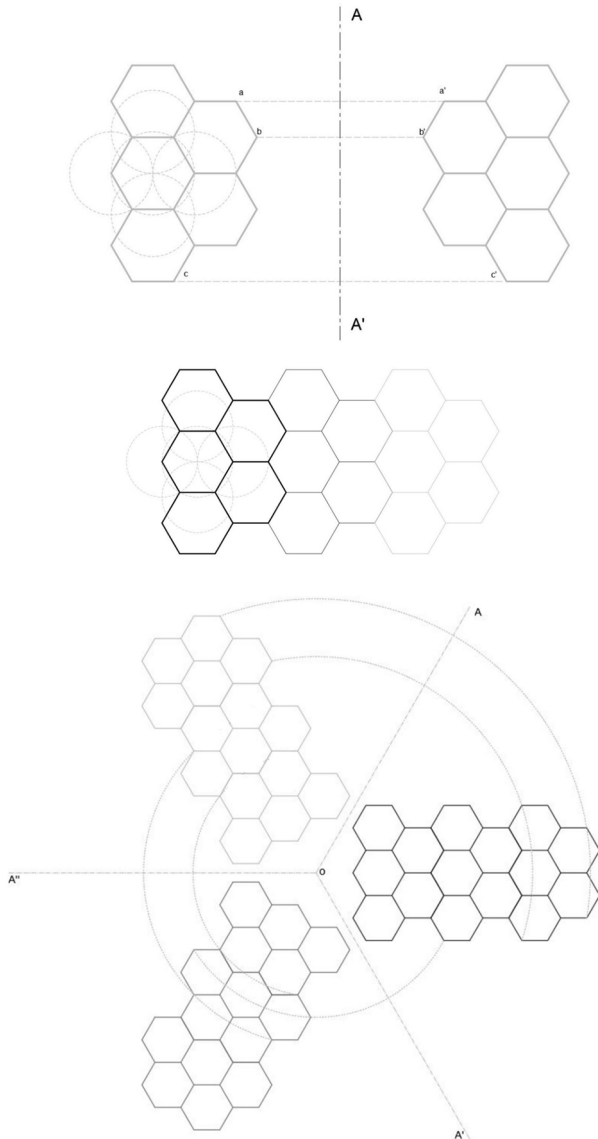


Fig. 6. Esempi schematici di simmetria riflessiva (in alto), traslativa (al centro), rotativa (in basso) (elaborazione dell'autore).



asiatica, indiana, e l'arte pre-colombiana [Salvadori 2015], non abbia ricevuto una adeguata attenzione riguardo le sue implicazioni sulla sfera del benessere psicologico e delle preferenze dell'individuo [Mehaffy 2020]. Nell'architettura del paesaggio e dei giardini, i principi di ordine, simmetria ed equilibrio trovano nel controllo degli assi (fig. 5) una tecnica ampiamente utilizzata [Eckbo 1964], che si è evoluta nel tempo fino a diventare una sorta di "cassetta degli attrezzi" e che ha permesso al giardino all'italiana di evolversi nel suo processo di maturazione da struttura semplice a complessa, da elemento isolato a sistema integrato con il territorio e l'ambiente circostante [Hu 2024].

In matematica si usa il termine simmetria per riferirsi all'invarianza di un oggetto rispetto ad una sua trasformazione geometrica come la riflessione, la rotazione, la traslazione o la varianza di scala [Weyl 2015]. Formalmente, si può dire che due oggetti A e B che appartengono al medesimo spazio S sono simmetrici se esiste una trasformazione T tale per cui $B=T(A)$ [Mitra, Pauly 2008]. La simmetria riflessa o a "specchio" risulta essere la tipologia più intuitiva nel quale qualsiasi configurazione geometrica è riflessa rispetto ad un asse. In questo caso si usa dire che A è l'immagine speculare di B. Nella simmetria di rotazione, la configurazione geometrica si dice tale se ruota attorno ad un punto; esistono numerosi esempi di questa classe, come l'iride dell'occhio, oppure un pallone nel quale la sua forma finale è il risultato della simmetria delle pressioni del gas che contiene [Mehaffy 2020]. Una traslazione esiste, se esiste una corrispondenza tra forme che non sono altrimenti simmetriche rispetto ad un asse, come può essere la ripetizione di un motivo o di un fregio (fig. 6). Le simmetrie per varianza di scala sono simili alle traslative ma si verificano quando la trasformazione T avviene rispetto alla dimensione dell'oggetto, un esempio molto comune sono le forme frattali. Si dovrebbe aggiungere un'ulteriore tipologia, che in realtà non può essere considerata una classe in senso stretto come nei casi precedenti, rappresentata dalle "rottture" nelle simmetrie, che si verificano quando esiste una perturbazione della regola simmetrica. Attualmente quest'ultimo aspetto sta attirando una grande attenzione della ricerca per spiegare la formazione di alcune strutture biologiche [Isaeva 2012], così come ha già dimostrato di avere diverse applicazioni in fisica e cosmologia [Weinberg 1979; Albrecht, Steinhardt 1982].

Machine learning per la symmetry detection

L'ambiente in cui viviamo o, meglio, gli eventi che in esso si sviluppano e che percepiamo sono spesso il risultato della combinazione multipla tra classi di simmetria [Park et al. 2008]. Solitamente, il cervello dell'essere umano è estremamente abile nel rilevarle quasi istintivamente [Conners 1989; Tyler 2003], viceversa, l'applicazione del computer per questo scopo presenta ancora alcune sfide di adattabilità soprattutto se si considera che gli oggetti geometrici o comunque gli elementi di questo universo possono considerarsi delle variabili continue praticamente infinite, mentre i computer elaborano elementi aritmetici finiti. Inoltre, si deve considerare che le geometrie rispetto alle quali si vuole determinare l'esistenza di una o più regole simmetriche tra le loro parti, possono essere memorizzate in formati differenti come immagini raster, vettoriali, risultato di acquisizione scanner, che richiedono inevitabilmente procedure e algoritmi differenti [Mehaffy 2020]. Lo sviluppo di algoritmi di symmetry detection ha una lunga storia nella computer vision, addirittura è possibile datare il primo tentativo di rilevamento di una simmetria di riflessione bilaterale prima della stessa computer vision [Park et al. 2008]. Anche se come visto le classi di simmetria sono diverse, il rilevamento della simmetria di riflessione bilaterale o più semplicemente simmetria a specchio e della sua versione obliqua ha dominato l'attenzione dei ricercatori per diversi decenni [Davis 1977; Kanade 1981; Gauch, Pizer 1993; Lei, Wong 1999], mentre è solo negli ultimi anni che si è registrato un'intensificazione della ricerca per il rilevamento di altre classi di simmetria [Hays et al. 2006; Podolak 2006; Prasad, Davis 2005]. Ovviamente ogni ricerca cerca di dimostrare le potenzialità di una specifica strategia con alcuni risultati sperimentali [Park et al. 2008], tuttavia la comparazione sistematica tra tutte, magari attraverso un set standard di oggetti o immagini, resta allo stato odierno ancora limitata [Zalik et al. 2022]. Alcuni esempi si possono comunque trovare in Xiao e Wu [2007]; che sviluppano un overview degli algoritmi di *symmetry detection* per le immagini raster; oppure, in Mitra et al. [2013]; si mostrano i risultati di una comparazione tra gli algoritmi per la valutazione della simmetria riflessa in oggetti 3D; infine, Bartalucci et al. [2018]; hanno comparato diversi metodi applicabili ai dati territoriali biomedici. Gli algoritmi appena descritti, sono sicuramente efficaci ma presentano comunque due tipologie di problemi: la prima è la specificità della loro applicazione, come indicato alcuni sono stati

progettati per valutare una particolare classe di simmetria, la seconda riguarda la complessità informatica intrinseca allo strumento o la necessità di ricorrere ad uno specifico software per la sua esecuzione, spesso proprietario, e non opensource con inevitabili limiti rispetto ad una possibile personalizzazione dello strumento. Inoltre, riferendosi all'oggetto di questa ricerca, si deve considerare che molto spesso la fonte documentale del giardino è molto spesso una rappresentazione pittorica o una xilografia che nel corso del tempo ha subito inevitabilmente un'azione degradativa, oppure la morfologia del territorio può essere stata modificata nel corso dei secoli, e quindi non si può procedere applicando le attuali tecnologie per il rilievo ad alta precisione. In considerazione di queste problematiche e soprattutto della particolarità dell'oggetto della ricerca, si è deciso di adottare un metodo con maggiore capacità di adattamento, libero e opensource e anche più intuitivo rispetto a molte delle soluzioni precedentemente indicate. Riassumendolo in poche righe prima di entrare nel dettaglio del codice: acquisita una fonte raster, e indicandola come insieme Z , si identifica o seleziona al suo interno una porzione che si può indicare come oggetto A , ovviamente tale che $A \subseteq Z$, e del quale si vuole cercare una sua trasformata $T(A)$. La porzione può, per esempio, essere un labirinto di siepi, una peschiera, una pergola, o altro ancora; di questa si calcola la trasformata ruotandola o riflettendola e ottenendo $B=T(A)$. Infine, si interroga il computer richiedendoli di cercare la trasformata $B=T(A)$ all'interno dell'insieme Z . In caso di esito positivo, quindi:

$$\exists B \subseteq Z \leftrightarrow B=T(A)$$

ossia, se la porzione B esiste ed è contenuta all'interno dell'insieme Z , allora B è la trasformata di A all'interno di Z ; quindi, A e B sono porzioni di Z reciprocamente simmetriche tra loro; in caso contrario:

$$\nexists B \subseteq Z \leftrightarrow B=T(A) \not\subseteq Z$$

ossia, l'impossibilità di determinare l'esistenza della trasformata B all'interno di Z implicherà che A e B non sono porzioni di Z reciprocamente simmetriche. Si pone inevitabilmente il problema di come insegnare al computer a trovare l'oggetto $B=T(A)$ dentro Z . La soluzione proposta in questa ricerca è quella di insegnare al computer a giocare ad una sorta di puzzle, insegnandoli i processi cognitivi basilari utilizzati dalle persone per identificare un tassello di un'immagine tra cento,

mille, e più elementi e capire la sua corretta posizione all'interno dell'immagine complessiva. Per illustrare la soluzione, si prenda come esempio puramente esplicativo l'immagine che segue (fig. 7) e dalla quale si sono ricavati quattro tasselli incolonnati sulla destra. Provando a giocare, si può ipotizzare che il pezzo totalmente grigio, il primo a partire dal basso appartiene sicuramente al cielo, tuttavia riuscire a localizzare la sua esatta posizione nell'immagine è impossibile, qualsiasi parte del cielo andrebbe bene, il secondo tassello dal basso possiamo attribuirlo alla parte sommitale dell'edificio, né più in basso né più in alto, esiste quindi un vincolo verticale ma non esiste uno orizzontale, infatti qualsiasi traslazione lungo questa direzione sarebbe considerata valida (limitatamente all'edificio), invece per il terzo e il quarto tassello è possibile identificare con precisione la loro posizione di origine nell'immagine. In questo caso quindi si può intuire che il discriminante che permette di determinare la posizione del tassello all'interno dell'immagine è la presenza di un elemento grafico informativo strategico: gli angoli. Quindi per rispondere alla domanda iniziale, si deve insegnare al computer a riconoscere gli angoli all'interno di un'immagine e nelle porzioni, tra le quali si vuole accertare l'esistenza di una o più regole simmetriche. Nel 1988 Chris Harris e Mike Stephens [1988], sviluppano un algoritmo che a partire da un'immagine trasformata in scala di grigio e acquisita elettronicamente in forma matriciale (di fatto un raster è già una matrice) consente di determinare gli angoli massimizzando la funzione che valuta la differenza di intensità dei pixel in tutte le direzioni. L'algoritmo è implementabile all'interno dell'ambiente di programmazione Python, utilizzando la libreria Open Source

Fig. 7. Esempio illustrativo della metodologia raffigurante Palazzo Venezia a Roma (fonte: <https://turismoroma.it/luoghi/palazzo-di-venezia>).



Fig. 8. Applicazione dell'algoritmo di Harris e Stephens, nell'immagine piccola in alto un acquerello del XVI sec. raffigurante un'aiuola [Mosser Teyssot 1999, p. 79], nell'immagine ingrandita il risultato della corner detection con pixel blu (elaborazione dell'autore).

```
#Planimetria di aiuole del XVI sec. Test per determinare i corner
#Test con algoritmo di Chris Harris & Mike Stephens, 1989

import numpy as np
import cv2 as cv

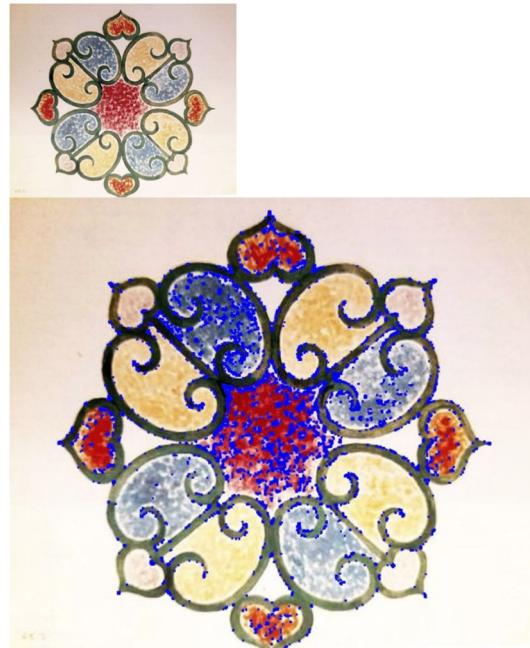
filename = 'Acquerello planimetria aiuole pag 79.jpg'
img = cv.imread(filename)
gray = cv.cvtColor(img,cv.COLOR_BGR2GRAY)

gray = np.float32(gray)
dst = cv.cornerHarris(gray,2,3,0.005)

dst = cv.dilate(dst,None)

# Soglia per un valore ottimale, che può variare a seconda dell'immagine.
img[dst>0.005*dst.max()]=[0,0,255]

cv.imshow('dst',img)
if cv.waitKey(0) & 0xff == 50:
    cv.destroyAllWindows()
cv.imwrite('Risultato_KD.jpg',img)
```

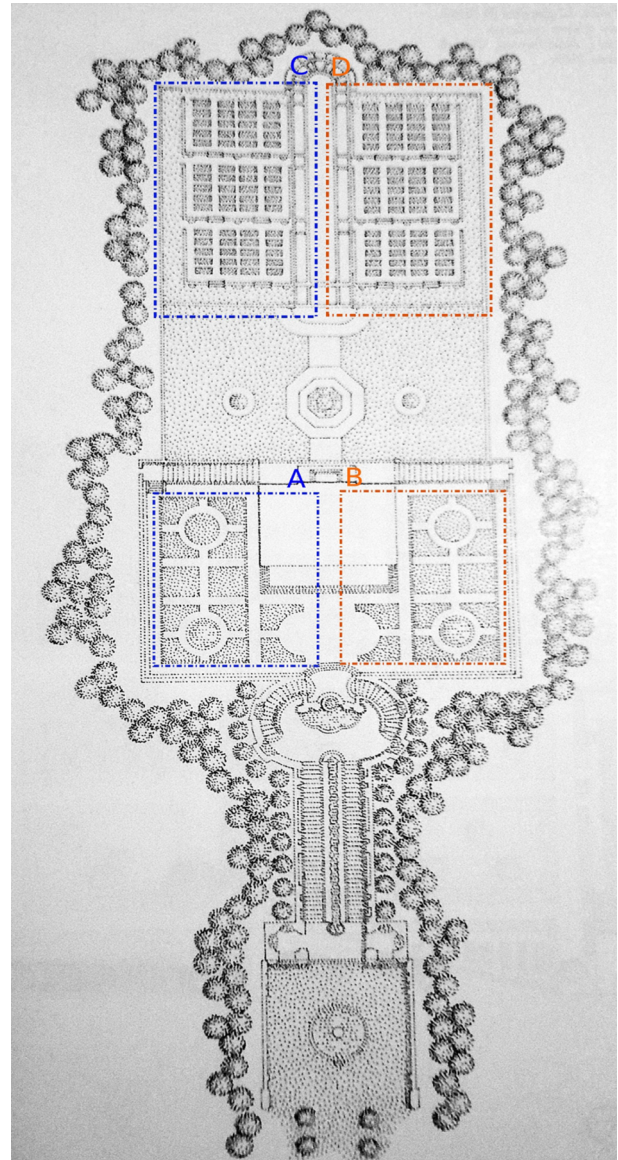


Computer Vision Library [3] (fig. 8). L'algoritmo di Harris presenta dei problemi e risulta non efficace quando si modifica la scala di visualizzazione dell'immagine. I continui sviluppi nella computer vision e in particolare nella *corner detection* hanno permesso di superare queste difficoltà fornendo un set di strumenti più prestazionali. Per esempio, Lowe [2004] sviluppa un algoritmo applicabile ad invarianza di scala SIFT (*Scale Invariant Feature Transform*), ulteriormente migliorato da Bay et al. [2006], in termini di velocità computazionale con il SURF (*Speeded-Up Robust Features*). Infine, l'ultima evoluzione la si deve a Rublee et al. [2011] con ORB (*Oriented FAST and Rotated BRIEF*) che rappresenta una soluzione maggiormente "aperta" in termini di accessibilità del codice rispetto alle due soluzioni precedenti. Successivamente al riconoscimento degli angoli, per verificare l'esistenza della trasformata $B=T(A)$ all'interno dell'insieme Z si possono utilizzare algoritmi appartenenti alla famiglia dei *Brute-Force Matcher* potenziati, che consentono di operare su dataset di grandi dimensioni, come il FLANN (*Fast Library for Approximate Nearest Neighbors*) che concettualmente si possono spiegare come una soluzione che verifica e identifica la presenza degli angoli nell'insieme Z , nella porzione A e nella trasformata $B=T(A)$, esamina la loro distribuzione e "capisce" se un dato angolo presente nella trasformata esiste anche nell'insieme Z [Noble 2016; Muja, Lowe 2009].

Sperimentazioni e risultati

L'applicazione delle procedure algoritmiche illustrate nel paragrafo precedente è stata implementata scegliendo come caso studio una planimetria dei giardini di Palazzo Farnese presente in Mosser e Teyssoit [1999], con riferimento alla pagina 27. L'immagine è stata volutamente acquisita con una macchina fotografica non professionale caratterizzata da una bassa risoluzione e senza l'ausilio di filtri correttivi o altri dispositivi meccanici di auto livellamento zenitale. L'idea alla base di questa particolare scelta è quella di testare gli algoritmi di *corner* e *image detection* su immagini di bassa qualità, sfocate, acquisite da fonti documentali che magari nel corso del tempo hanno anche subito un deterioramento fisico del supporto cartaceo con conseguente deformazione dell'immagine stessa; in pratica si è scelto di simulare difficili condizioni operative che potrebbero presentarsi operando su rappresentazioni, anche pittoriche come quelle descritte nei paragrafi precedenti. Definito quindi il caso studio (fig. 9), si sono selezionate all'interno di questo due porzioni dell'immagine indicate da

Fig. 9. La planimetria dei giardini di palazzo Farnese utilizzata come caso studio sul quale sono evidenziate due porzioni "A" e "C" per il test sull'algoritmo [Mosser, Teyssoit 1999, p. 27].



due rettangoli tratteggiati di colore blu e chiamate rispettivamente A e C. Di queste due porzioni sono state elaborate le rispettive simmetrie riflessive e rotative e inoltre, per testare la capacità di riconoscimento algoritmico, sono state scalate e volutamente deformate. Più nel particolare, la porzione A è stata prima riflessa e ridimensionata con un rapporto di scala doppio rispetto all'originale e successivamente ruotata di 90 gradi. La porzione C è stata prima riflessa e poi successivamente deformata allungandola lungo la direzione Y di una percentuale del 10%, 20%, 30% e infine del 40% rispetto alle dimensioni originalmente acquisite. In seguito alla determinazione delle rispettive trasformate di A e C si è prima applicato l'algoritmo SIFT per la determinazione dei *kornerpoin*t e poi l'algoritmo FLANN che ha il compito di confrontarli e tramite questo passaggio riconoscere l'esistenza di un'immagine all'interno di un'altra. Il codice completo è riportato di seguito e successivamente si fornisce una sua esplicitazione più dettagliata (fig. 10).

Fig. 10. Lo script in Python che incorpora gli algoritmi SIFT e FLANN per la determinazione dei *kornerpoin*t nel caso studio (compilazione del codice dell'autore).

```
import numpy as np
import cv2 as cv
import matplotlib.pyplot as plt

e1 = cv.getTickCount()

img1 = cv.imread('Palazzo_Farnese_D_test_estremo.jpg', cv.IMREAD_GRAYSCALE) #
queryImage
img2 = cv.imread('Palazzo_Farnese.jpg', cv.IMREAD_GRAYSCALE) # trainImage

# Initiate SIFT detector
sift = cv.SIFT_create()

# find the keypoints and descriptors with SIFT
kp1, des1 = sift.detectAndCompute(img1, None)
kp2, des2 = sift.detectAndCompute(img2, None)

# FLANN parameters
FLANN_INDEX_KDTREE = 5
index_params = dict(algorithm = FLANN_INDEX_KDTREE, trees = 5)
search_params = dict(checks=100) # or pass empty dictionary

flann = cv.FlannBasedMatcher(index_params, search_params)

matches = flann.knnMatch(des1, des2, k=2)

# Need to draw only good matches, so create a mask
matchesMask = [[0,0] for i in range(len(matches))]

# ratio test as per Lowe's paper
for i, (m,n) in enumerate(matches):
    if m.distance < 0.4*n.distance:
        matchesMask[i]=1,0

draw_params = dict(matchColor = (0,255,0),
                    singlePointColor = (255,0,0),
                    matchesMask = matchesMask,
                    flags = cv.DrawMatchesFlags_DEFAULT)

img3 = cv.drawMatchesKnn(img1, kp1, img2, kp2, matches, None, **draw_params)

e2 = cv.getTickCount()
time = (e2 - e1)/cv.getTickFrequency()
print( time )

plt.imshow(img3, ), plt.show()
```

Nella prima parte dello script, attraverso le prime tre righe di codice si importano tre librerie che non sono originariamente presenti all'interno di Python e sono rispettivamente Numpy [1] che consente la gestione e l'analisi avanzata su matrici multidimensionali, come un'immagine raster che altro non è che una matrice bidimensionale; la libreria "OpenCV" che come già indicato è alla base di molte soluzioni di *computer vision* e *image detection*, infine la libreria Matplotlib [2] che consente la creazione e visualizzazione di grafici e animazioni interattive all'interno di Python. Immediatamente dopo e quasi in chiusura del codice si sono inseriti due contatori rispettivamente *e1* ed *e2* che permettono di calcolare il tempo (*e2-e1*), espresso in secondi, impiegato per eseguire lo script tra i due contatori; questo accorgimento è stato fatto in previsione di uno sviluppo della ricerca indirizzato anche alla valutazione quantitativa delle performance delle diverse soluzioni che possono essere sviluppate e implementate. Quindi, analizzando il funzionamento dello script tra i due contatori, si trovano immediatamente due righe che creano le variabili *img1* e *img2* all'interno delle quali saranno memorizzate le porzioni di immagine da cercare (*#queryImage*) e la base all'interno del quale cercare (*#trainImage*). Nelle successive righe si avvia prima l'algoritmo di SIFT per la determinazione dei *kornerpoin*t nelle due immagini precedentemente memorizzate per poi salvare il risultato di questa analisi all'interno di due nuove variabili chiamate *kp1* e *kp2* rispettivamente. Questo risultato è quindi passato all'algoritmo di FLANN che, come detto in precedenza, permette di confrontare e unire i *kornerpoin*t simili tra le immagini che si stanno confrontando. Il risultato è condizionato al raggiungimento di un certo standard quantitativo, che può essere modificato attraverso le successive righe di codice. Per una precisa e dettagliata esplicitazione del funzionamento sia del SIFT che del FLANN si rimanda all'ampia documentazione della libreria "OpenCV" che è disponibile online. Il risultato complessivo è memorizzato all'interno di una nuova variabile *img3* che conterrà le due immagini, i *kornerpoin*t e l'unione di quelli che si sono determinati come coincidenti tramite segmenti di retta (*flags*). Il risultato finale è immediatamente disponibile e visualizzato all'interno di una finestra creata con l'ultima riga di codice ("plt.imshow"). Nei risultati ottenuti i *kornerpoin*t sono rappresentati da piccoli cerchi di colore rosso in entrambe le immagini di confronto, mentre i *flags* che li uniscono sono dei segmenti di retta di colore verde. L'esecuzione del codice è stata ripetuta per tutte le casistiche precedentemente indicate, consentendo di osservare e valutare la capacità dello script per il riconoscimento

Fig. 11. In alto il riconoscimento della porzione A riflessa (sinistra) e riflessa-rotata (sulla destra); in basso il riconoscimento della porzione C riflessa e deformata del 10% (sinistra), e del 20% (sulla destra) (elaborazione dell'autore).

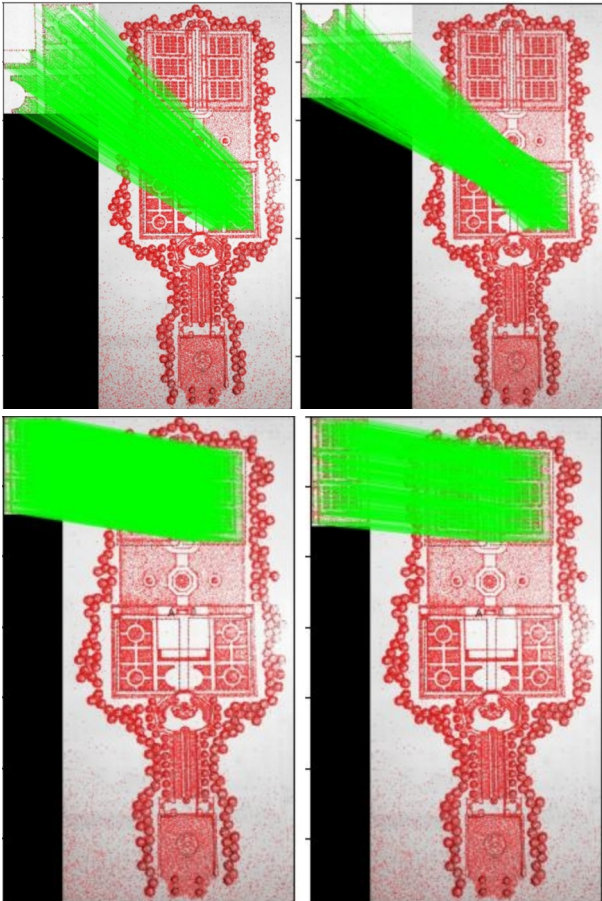
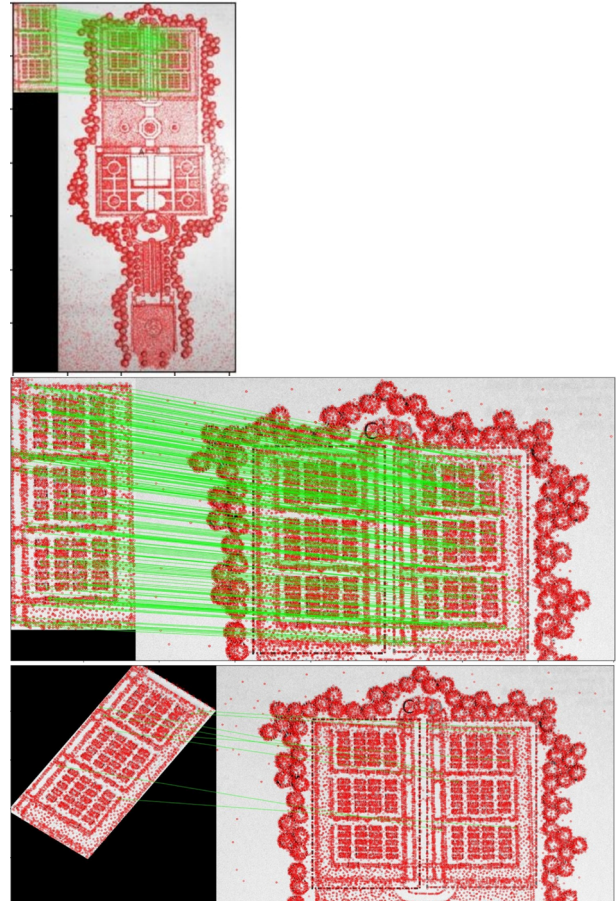


Fig. 12. In alto nella figura piccola il riconoscimento della porzione C riflessa e deformata del 30%, e del quale è possibile apprezzare un ingrandimento, in basso il riconoscimento sempre della porzione C riflessa, del 30% e ruotata di un angolo di 45° (elaborazione dell'autore).



immagini in differenti condizioni, dalla semplice riflessione, alla riflessione-rotazione, alla distorsione voluta delle immagini. Gli esiti sono mostrati nelle due immagini che seguono e quindi commentati. Nelle prime due elaborazioni della figura 11 si nota immediatamente l'elevata efficacia dello script se le porzioni da riconoscere sono solamente riflesse ma anche riflesse e ruotate, si può infatti osservare la densa e fitta nuvola di link verdi che connettono l'immagine da cercare all'interno della planimetria generale. Applicando lo script nella ricerca della porzione C che è stata prima riflessa e successivamente deformata lungo l'asse Y dal 10% al 40%, si può osservare (fig. 11) come la sua capacità di riconoscimento tenda a ridursi, ma comunque con un'elevata numerosità dei flag verdi. Elevando il grado di deformazione alla soglia del 30% la riduzione della capacità di riconoscimento dello script è evidente, la densità dei flag verdi risulta significativamente inferiore (fig. 12), per poi ridursi ulteriormente se la porzione oltre ad essere riflessa, deformata e anche ruotata. La capacità di riconoscimento dello script è totalmente annullata raggiungendo la soglia di deformazione del 40%, in altre parole il codice non essendo in grado di riconoscere nessuna coincidenza tra i kornes delle immagini a confronto, suggerisce che in questa particolare situazione la porzione C e la sua trasformata $C=T(D)$ (riflessa e deformata lungo un'unica direzione di ben il 40%) non sarebbero simmetriche.

Conclusioni

Nella ricerca si è sperimentata e valutata la possibilità di utilizzare alcuni algoritmi automatizzati appartenenti alla branca dell'*image detection* e *computer vision*, per istruire il computer nel riconoscere le simmetrie esistenti nella tipica distribuzione spaziale di un giardino all'italiana. Partendo da un'analisi storico evolutiva dei caratteri e delle vicende che hanno stimolato e influenzato la nascita del giardino

all'italiana si sono individuate alcune fonti documentali che indicano come una ampia rappresentanza di questi giardini è andata sfortunatamente persa durante i secoli e i restanti sono stati spesso interessati da rivisitazioni, in alcuni casi anche abbastanza recenti. Quindi è stato accertato che molto spesso l'unica testimonianza di questi tesori ormai persi o modificati rispetto ai progetti iniziali si ritrova in illustrazioni artistiche o documenti molto antichi che nel corso del tempo si possono essere deteriorati, scoloriti, deformati o altro ancora. Per questo motivo si è scelto di sviluppare un algoritmo e testarne l'efficacia in diverse condizioni per comprendere la sua applicabilità ma soprattutto i suoi limiti. Il caso studio scelto mostra i caratteri tipici del giardino all'italiana e quindi, per definizione simmetrico negli elementi che lo compongono, ma non era questo l'obiettivo della ricerca, ossia dimostrare l'esistenza delle simmetrie, quanto semmai comprendere se la metodologia proposta fosse efficace nell'insegnare al computer a riconoscere queste relazioni consentendo in futuro di replicare l'esperimento in situazioni più complesse e meno certe. Come dimostrato dai risultati l'esito dell'esperimento può considerarsi positivo entro certi limiti operativi. I successivi sviluppi sono già orientati in diverse direzioni: capire e confrontare l'efficacia e l'efficienza dei diversi algoritmi rispetto ad una casistica di casi studio potenziali che è molto più ampia di quella che potrebbe essere discussa in una sola ricerca, censire e categorizzare appunto la varietà di casi studio che si potrebbero presentare e che sarebbero utilizzati come libreria standard per il confronto prestazionale tra gli algoritmi, istruire il computer per riconoscere e distinguere all'interno delle rappresentazioni gli elementi tipici del giardino all'italiana, (siepi, viali alberati, peschiere, etc.) attraverso altri algoritmi di computer vision che in realtà sono più frequentemente utilizzati nella diagnostica medica attraverso le immagini. I primi risultati, che saranno pubblicati nelle future ricerche, sembrano far presupporre l'indirizzo di ricerca si può considerare come fertile e promettente nei risultati.

Note

[1] <https://numpy.org/>.

[2] <https://matplotlib.org/>.

[3] <http://opencv.org/>.

Autore

Amedeo Ganciu, Dipartimento di Architettura Design Urbanistica. Università degli Studi di Sassari, aganciu@uniss.it

Riferimenti bibliografici

- Agostini, I. (2011). *Il Trebbio in Mugello. Terre, storia, architettura: tremila anni di un trivium*. Firenze: Aión.
- Albrecht, A., Steinhardt, P.J. (1982). Cosmology for grand unified theories with radiatively induced symmetry breaking. In *Physical Review Letters*, vol. 48, No. 17, p. 1220.
- Amadei, D. (2015). *L'ordine e la geometria nel teatro antico. Diffusione e fortuna del De Architectura di Vitruvio. Caso studio: il teatro romano di Fanum Fortunae* [dissertazione di dottorato, Università Politecnica delle Marche]. Centro Studi Vitruviani.
- Azzi Visentini, M. (2012). La chasse dans le duché de Milano à l'époque des Visconti et des Sforza: les parcs de Pavie et de Milan. In M. Chatenet et al. (eds.). *Chasses princières dans l'Europe de la Renaissance*, pp. 179-215. Arles: Actes sud.
- Bartalucci, C., Furferi, R., Governi, L., Volpe, Y. (2018). A survey of methods for symmetry detection on 3d high point density models in biomedicine. In *Symmetry*, vol. 10, No. 7, p. 263.
- Bay, H., Tuytelaars, T., Van Gool, L. (2006). Surf: Speeded up robust features. In *Computer Vision—ECCV 2006: 9th European Conference on Computer Vision*, Graz, Austria. Proceedings, Part I 9, pp. 404-417. Berlino: Springer Berlin Heidelberg.
- Cold, B., Kolstad, A., Larssæther, S. (1998). *Aesthetics, well-being and health: Abstracts on theoretical and empirical research within environmental aesthetics*. Oslo: Norsk form.
- Conners, R.W., Ng, C.T. (1989). Developing a quantitative model of human preattentive vision. In *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, vol. 19, No. 6, pp. 1384-1407.
- Davis, L.S. (1977). Understanding shape: Angles and sides. In *IEEE Trans. Computers*, vol. 26, No. 3, pp. 236-242.
- Dosen, A.S., Ostwald, M.J., Dawes, M.J. (2013). Environmental preference and spatio-visual geometry: A method for combining isovists and psychological testing. In M.A. Schnabel (ed.). *Cutting Edge: 47th International Conference of the Architectural Association*, pp. 653-662.
- Eckbo, G. (1964). *Urban Landscape Design*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Frati, M. (2015). *Alle soglie della villa fiorentina: l'architettura delle dimore rurali nel Trecento*. Roma: Opus Incertum.
- Frommel, C.L. (1994). Poggioreale: problemi di ricostruzione e tipologi. In D. Lamberini, (a cura di). *Giuliano e la bottega dei da Maiano. Atti del convegno internazionale di studi*, pp. 104-111. Heidelberg: Heidelberg University.
- Frommel, C.L. (2006). Villa Medici a Fiesole e la nascita della villa rinascimentale. In A. Roca De Amicis (a cura di). *Colloqui d'architettura*, pp. 30-59. Heidelberg: Heidelberg University.
- Gauch, J.M., Pizer, S.M. (1993). The intensity axis of symmetry and its application to image segmentation. In *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 15, No. 8, pp. 753-770.
- Germano, G. (2022). *Uno sguardo nel Medioevo: il monastero, l'orto, la società. Convegno La salute nella visione profetica di Ildegarda di Bingen. Un pensiero globale e moderno*, Pavia, Italia.
- Hagerhall, C.M., Purcell, T., Taylor, R. (2004). Fractal dimension of landscape silhouette outlines as a predictor of landscape preference. In *Journal of environmental psychology*, vol. 24, No. 2, pp. 247-255.
- Hays, J., Leordeanu, M., Efros, A.A., Liu, Y. (2006). Discovering texture regularity as a higher-order correspondence problem. In *Computer Vision—ECCV 2006: 9th European Conference on Computer Vision*, pp. 522-535. Berlino: Springer Berlin Heidelberg.
- Harris, C., Stephens, M. (1988). A combined corner and edge detector. In *Alvey vision conference*, vol. 15, No. 50, pp. 147-152.
- Hodgson, D. (2011). The first appearance of symmetry in the human lineage: Where perception meets art. In *Symmetry*, vol. 3, No. 1, pp. 37-53.
- Hu, H. (2024). Analysis of the Spatial Axis of Italian Renaissance Garden. Taking Villa Lante and Villa d'Este as Examples. In *Frontiers in Art Research*, vol. 6, No. 2, pp. 80-87.
- Isaeva, V.V., Kasyanov, N.V., Presnov, E.V. (2012). Topological singularities and symmetry breaking in development. In *Biosystems*, vol. 109, No. 3, pp. 280-298.
- Lei, Y., Wong, K.C. (1999). Detection and localisation of reflectional and rotational symmetry under weak perspective projection. In *Pattern Recognition*, vol. 32, No. 2, pp. 167-180.
- Lowe, D.G. (2004). Distinctive image features from scale-invariant keypoints. In *International journal of computer vision*, No. 60, pp. 91-110.
- Kanade, T. (1981). Recovery of the three-dimensional shape of an object from a single view. In *Artificial intelligence*, 17, pp. 409-460.
- Kern, E.G. (1951). The Gardens in the Decameron Cornice. In *PMLA*, vol. 66, No. 4, pp. 505-523.
- Kibler, W.W. (1992). Labbé's 'L'architecture des palais et des jardins dans les chansons de geste'. In *Olifant*, vol. 17, No. 3/4, pp. 212-216.
- Mehaffy, M.W. (2020). The Impacts of symmetry in architecture and urbanism: Toward a new research agenda. In *Buildings*, vol. 10, No. 12, p. 249.
- Mitra, N., Pauly, M. (2008). Symmetry for architectural design. In *Advances in Architectural Geometry, conference Proceedings*, p. 13-16.
- Mitra, N.J., Pauly, M., Wand, M., Ceylan, D. (2013). Symmetry in 3d geometry: Extraction and applications. In *Computer graphics forum*, vol. 32, No. 6, pp. 1-23.
- Mosser, M., Teysot, G. (1999). *L'architettura dei giardini d'Occidente. Dal Rinascimento al Novecento*. Milano: Electa.

- Muja, M., Lowe, D. (2009). *Flann-fast library for approximate nearest neighbors user manual*. <https://www.cs.ubc.ca/research/flann/uploads/FLANN/flann_manual-1.8.4.pdf> (consultato il 30 luglio 2024).
- Noble, F.K. (2016). Comparison of OpenCV's feature detectors and feature matchers. In *23rd International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice*, pp. 1-6. New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Padovan, R. (2002). *Proportion: science, philosophy, architecture*. Routledge: Taylor & Francis.
- Park, M., Lee, S., Chen, P.C., Kashyap, S., Butt, A.A., Liu, Y. (2008). Performance evaluation of state-of-the-art discrete symmetry detection algorithms. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 1-8. New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Podolak, J., Shilane, P., Golovinskiy, A., Rusinkiewicz, S., Funkhouser, T. (2006). A planar-reflective symmetry transform for 3D shapes. In *ACM SIGGRAPH*, pp. 549-559.
- Prasad, V.S.N., Davis, L.S. (2005). Detecting rotational symmetries. In *Tenth IEEE International Conference on Computer Vision*, vol. 2, pp. 954-961. New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Rossi, C. (2004). *Architecture and mathematics in ancient Egypt*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rublee, E., Rabaud, V., Konolige, K., Bradski, G. (2011). ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF. In *International conference on computer vision*, pp. 2564-2571. New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Salvadori, M. (2015). Can there be any relationships between mathematics and architecture?. In K. Williams, M.J. Ostwald (Eds.). *Architecture and Mathematics from Antiquity to the Future. Volume I: Antiquity to the 1500s*, pp. 25-29. Basilea: Birkhäuser.
- Sansovino, F. (1522). *Pietro Crescentio tradotto novamente per M. Francesco Sansovino nel quale si trattano le cose della villa con le figure delle herbe poste nel fine. Con vocabolario delle voci difficili che sono in questa opera & con i disegni degli strumenti co quali si coltiva & si lavora la terra*. <https://archive.org/details/bub_gb_UYXh3J_fijkC/page/n5/mode/2up> (consultato il 30 luglio 2024).
- Savastano, L., Chioyenda, E., Mieli, A. (1922). Pietro de' Crescenzi ed il suo trattato d'agricoltura. In *Archeion*, No. 3, pp. 311-318.
- Sberlati, F. (2004). Villania e cortesia. L'opposizione tra città e campagna dal Medioevo al Rinascimento. In *La letteratura di villa e di villeggiatura: atti del convegno di Parma*, pp. 1000-1050. Roma: Salerno editrice.
- Taylor, N. (1994). Aesthetic judgement and environmental design: is it entirely subjective?. In *Town Planning Review*, vol. 65, No. 1, p. 21.
- Tyler, C.W. (2003). *Human symmetry perception and its computational analysis*. Routledge: Psychology Press.
- Tosco, C. (2018). *Storia dei giardini. Dalla Bibbia al giardino all'italiana*. Bologna: Il Mulino.
- Usher, J. (1989). Frame and novella gardens in the "Decameron". In *Medium aevum*, vol. 58, No. 2, pp. 274-285.
- Van den Berg, A.E., Koole, S.L., Van Der Wulp, N.Y. (2003). Environmental preference and restoration: (How) are they related?. In *Journal of environmental psychology*, vol. 23, No. 2, pp. 135-146.
- Xiao, Z., Wu, J. (2007). Analysis on Image Symmetry Detection Algorithms. In *Fourth international conference on fuzzy systems and knowledge discovery*, vol. 4, pp. 745-750. New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Weinberg, S. (1979). Implications of dynamical symmetry breaking: an addendum. In *Physical Review*, vol. 19, No. 4, p. 1277.
- Weyl, H. (2015). *Symmetry*. Princeton: Princeton University Press.
- Žalik, B., Strnad, D., Kohek, Š., Kolingerová, I., Nerat, A., Lukač, N., Podgorelec, D. (2022). A Hierarchical Universal Algorithm for Geometric Objects' Reflection Symmetry Detection. In *Symmetry*, vol. 14, No. 5, p. 1060.