



POLITECNICO DI MILANO

Scuola di Ingegneria Edile - Architettura

Corso di laurea magistrale in Ingegneria Edile - Architettura

Anno Accademico 2016/2017

Tesi di laurea di

Alessandro Tamburello 749022

Relatore

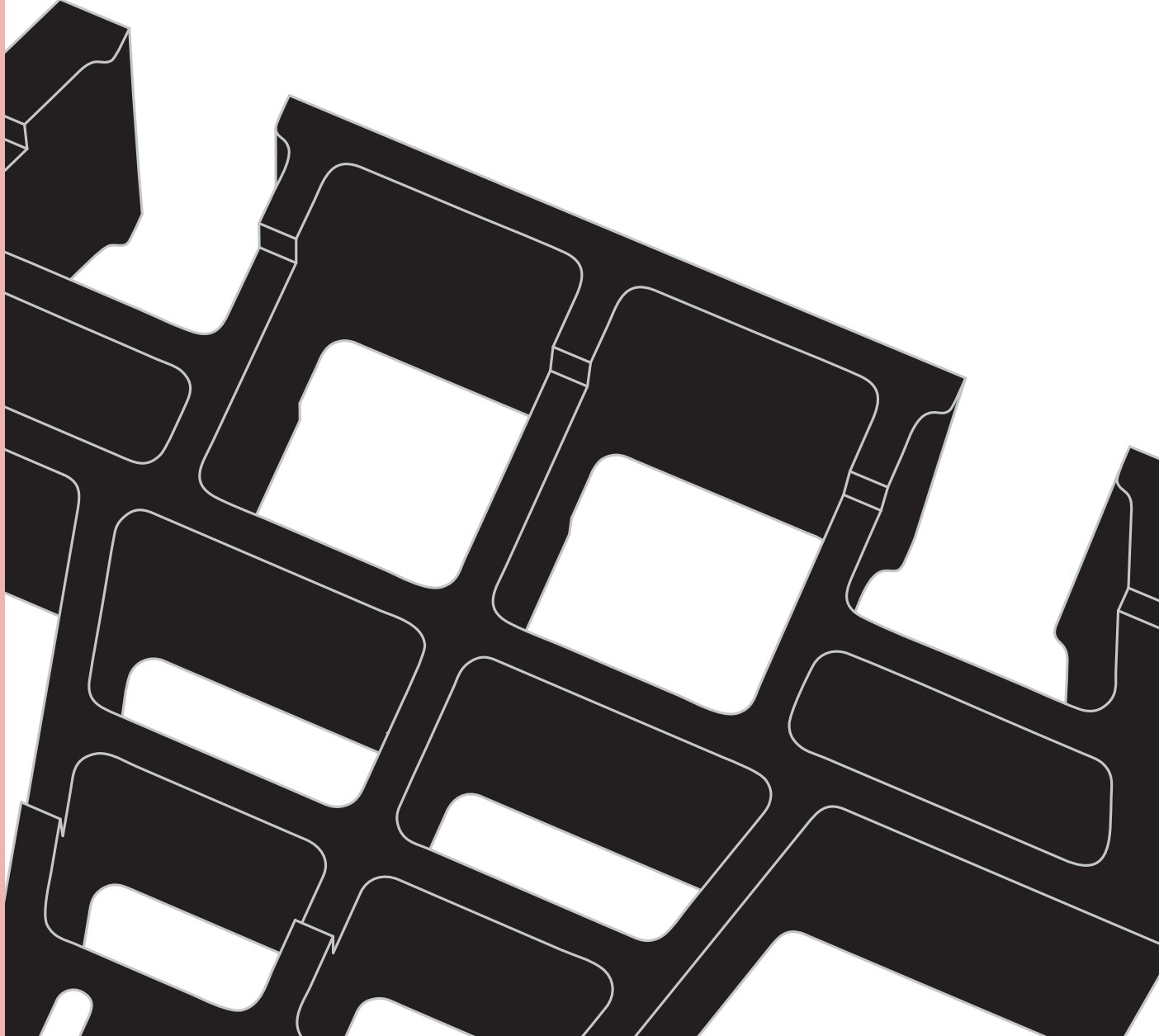
Prof. Marco Muscogiuri

Co-relatori

Prof. Gabriele Maserà - Prof. Matteo Colombo

ANT

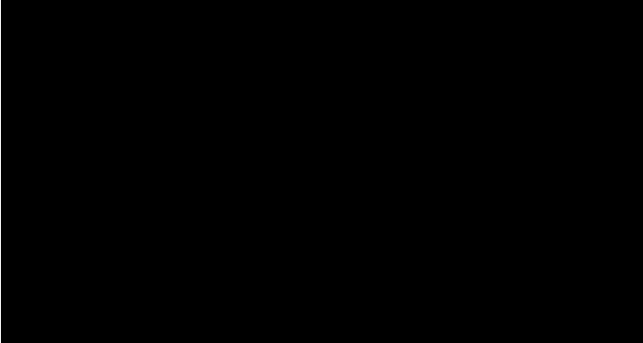
STAMPA 3D.
PERIFERIE.
PALERMO.



”

*Amo gli inizi. Gli inizi mi riempiono di meraviglia.
Io credo che sia l'inizio a garantire il proseguimento*
— Louis Kahn

ABSTRACT^{IT}



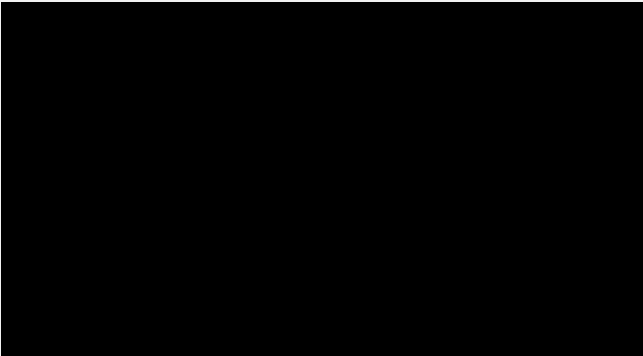
ANT è un progetto che nasce dalle recenti sperimentazioni che hanno studiato e verificato la possibilità di utilizzare la stampa 3D in edilizia. Pertanto in questo lavoro è stata utilizzata la tecnologia di manifattura additiva per la realizzazione di centri socio-culturali nelle periferie di Palermo.

La città presenta infatti molteplici problematiche dal punto di vista urbanistico, sociale e culturale, che portano spesso all'emarginazione e alla dispersione. Sono state individuate 6 aree satellite della città e fra queste ne sono state scelte 3, ovvero Cala, Brancaccio e Zen, per la realizzazione di altrettanti padiglioni: ANT1_Cala, ANT2_Brancaccio e ANT3_Zen.

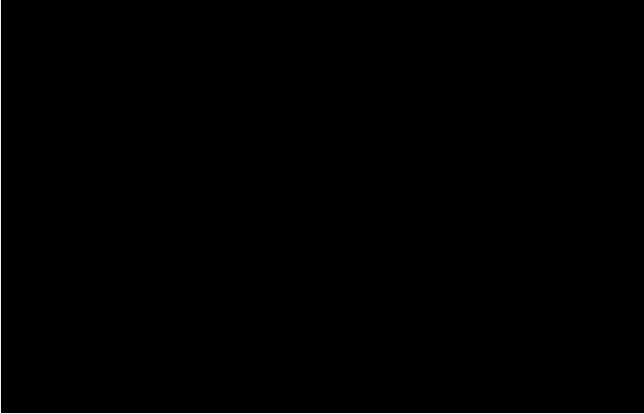
La progettazione architettonica e strutturale di ANT1 sono state eseguite parallelamente e questa collaborazione ha portato alla definizione di blocchi strutturali, stampati in calcestruzzo che, una volta impilati, formano gli archi che caratterizzano l'involucro strutturale del padiglione. Particolare attenzione è stata anche dedicata allo studio di tecnologie per la riduzione dei consumi energetici, principalmente per l'ottimizzazione della radiazione solare per garantire il comfort termico.

La stampa 3D ha permesso la realizzazione di strutture geometriche complesse, e, attraverso gli studi effettuati, l'ottimizzazione delle stesse, il risparmio di materiale e la facilità di messa in opera. Tutti i dati raccolti, sono stati quindi elaborati per la redazione di un computo metrico estimativo per mettere a confronto la tecnologia di stampa 3D con quella tradizionale. Questa stima ha evidenziato come la prima riesce ad essere assolutamente più competitiva, sia dal punto di vista del costo di costruzione che in termini di tempi di esecuzione delle lavorazioni. Ciò semplificherebbe notevolmente il cantiere limitando le possibilità di errore.

Stampare edifici in 3D, oggi, ha comunque ancora numerosi limiti. Però la possibilità di gestire in maniera semplice tutto il processo produttivo è indubbiamente un punto a suo favore e può aprire scenari interessanti nel prossimo futuro. Solo una continua ricerca e la condivisione delle idee, potrà trasformare lo scetticismo che ancora persiste in un sempre maggiore interesse.



ABSTRACT^{EN}



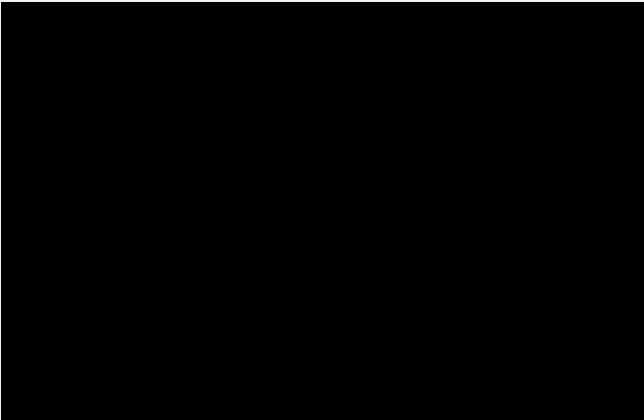
ANT is a project born from the recent experiments that have studied and verified the ability to use 3D printing in construction. Therefore in this work the “ additive manufacturing” technology has been used for the realization of socio-cultural centers in the peripheries of Palermo.

In fact the city has many problems from the urban point of view, social and cultural development, which often lead to marginalization and dispersion. They have been identified 6 satellite areas and among these 3 were chosen (Cala, Brancaccio and Zen) for the construction of just as many pavilion: ANT1_Cala, ANT2_Brancaccio and ANT3_Zen.

It was carried out in detail the architectural and structural design of the pavilion ANT1. This has led to the definition of structural blocks, printed in concrete, which suitably stacked, form the arches that characterize the structural shell of the pavilion. Furthermore special attention has been devoted to the study of technologies for the reduction of energy consumption mainly for optimization of solar radiation to ensure the thermal comfort.

3D printing has enabled the creation of complex geometric structures and, through studies carried out, the optimization of the same, the material savings and the ease of implementation. All collected data were then processed for the preparation of a metric estimate for comparing the 3D printing technology with the traditional one. This estimate has highlighted as the first manages to be absolutely more competitive, both from the point of view of construction costs and in terms of execution times of manufacturing. This greatly simplifies the construction site by limiting the possibility of error.

Print 3D buildings today, however, has still a number of limitations. But the ability to easily manage the entire production process is undoubtedly a point in its favor and can open interesting scenarios in the near future. Only continuous research and the sharing of ideas, will transform the skepticism that still persists in more and more interest.



INDICE

1 RIVOLUZIONE 3.0

PREFAZIONE	15
UOMINI	17
LUOGHI	18
FabLab Torino	20
FabLab Milano	20
Witlab	20
Officine Gattaglio	
STRUMENTI	21
PASSI	22
PAROLE	22
Tecnologie 3D	22
STAMPA 3D	23
Tecnologie di estrusione	25
Fused deposition modeling (FDM)	25
Material Jetting	25
Tecnologie di fotopolimerizzazione	26
Stereolitografia (SL o SLA)	26
Digital light processing (DLP)	26
Two-Photon Polymerization (2PP)	26
Tecnologie granulari	27
Selective laser sintering (SLS)	27
Electron beam melting (EBM)	27
Directed energy deposition (DED)	27
Binder Jetting	28
Tecnologie di laminazione	28
Laminated object manufacturing (LOM)	28
TRAGUARDI	29
FATTI	30
Applicazioni in Architettura e nelle costruzioni	34
IN AVANTI	36
4D PRINTING	36
SCHEDE DEI PERSONAGGI	38

2 PALERMO È TANTE STORIE

PREFAZIONE	49
SVILUPPO	50
La fondazione e il periodo Punico - Romano	50
La Palermo Arabo - Normanna	50
Dagli Svevi agli Angioini	51
Il periodo Spagnolo	51
Lo sviluppo delle vie extraurbane	52
Le borgate storiche	52
L'inizio della pianificazione	52
Il piano Giarrusso e il taglio di via Roma	53
Il Concorso del 1939 e i bombardamenti	53
Il PRG del 1962	54
Il PPE del centro storico del 1993	54
Il decennale a Palermo: dai quartieri alle circoscrizioni	54
CARTOGRAFIE	55

3 TRE PERIFERIE

AREE	80
CALA	83
Nascita e sviluppo	84
Urbanistica e morfologia oggi	86
Quadro socio - demografico	97
BRANCACCIO	98
Nascita e sviluppo	99
Urbanistica e morfologia oggi	101
Come si vive oggi	113
Quadro socio - demografico	114
ZEN	116
Nascita e sviluppo	118
Urbanistica e morfologia oggi	122

Come si vive oggi	135
Quadro socio - demografico	137

4 TRE PROGETTI

ANT1 CALA	143
Contaminazioni	143
Forma e funzione	144
ANT2 BRANCACCIO	167
Contaminazioni	167
Forma e funzione	168
ANT3 ZEN	185
Contaminazioni	185
Forma e funzione	187

5 FORMA & STRUTTURA

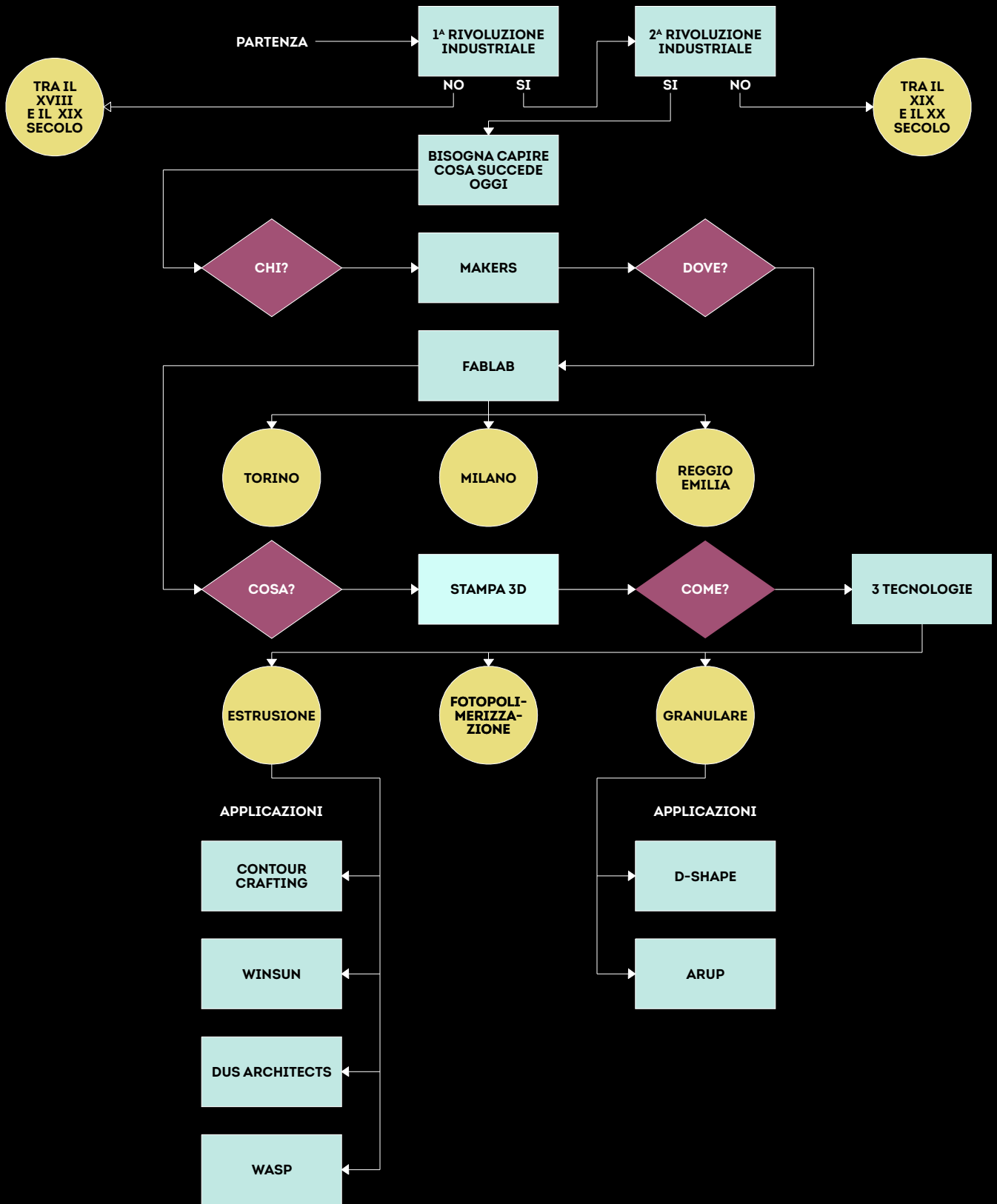
ANALISI DEI CARICHI PERMANENTI	205
Carichi permanenti strutturali	205
Carichi permanenti non strutturali e non removibili	205
ANALISI DEI CARICHI VARIABILI	206
Azione della neve	206
Azione del vento	207
Azione del sisma	209
STRUTTURA AD ARCO	212
Schema statico di dimensionamento	215
Analisi allo stato limite ultimo (SLU)	215
Verifica a SLU	216
Verifica a SLE	219
Verifica a taglio	221
Dimensionamento della lunghezza di ancoraggio	222
Verifica di deformabilità allo SLE	222

TRAVE DI FONDAZIONE	225
Cenni teorici	225
Calcolo della sezione minima ammissibile della trave di fondazione	225
Risoluzione dell'equazione differenziale	227
Calcolo delle armature longitudinale dell'anima della trave	229
Calcolo delle armature trasversali dell'anima della trave	229
TIRANTE TRA LE TRAVI DI FONDAZIONE	320
CALCOLO SEZIONE DEL MONTANTE DELLA VETRATA	231
MATERIALI A CONFRONTO	232
Materiale 1: sabbia dolomia	232
Materiale 2: calcestruzzo	235
ANT: prove effettuate in laboratorio	236

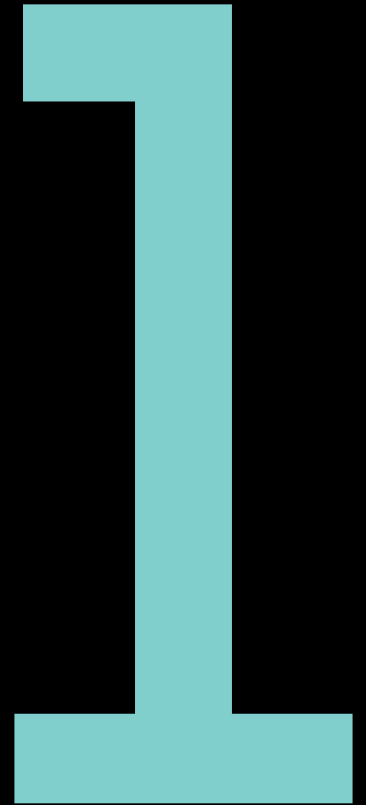
6 TECNOLOGIA

ANALISI DEL CONTESTO BIOCLIMATICO	241
Precipitazioni	242
Umidità relativa	242
Temperatura dell'aria esterna	242
Vento	243
VENTILAZIONE	244
Naturale	244
Meccanica controllata	245
LUCE NATURALE	245
Variabili della luce	247
Grandezze della luce	248
Il progetto	248
ACUSTICA	252
STRATEGIE DI INVOLUCRO	254
FASI COSTRUTTIVE	273
Centina	273
COMPUTO	276

CONCLUSIONI	277
VIAGGIO	279
ALLEGATI	281
BIBLIOGRAFIA	316
INDICE DELLE IMMAGINI	322
INDICE DELLE TAVOLE	334



RIVOLUZIONE 3.0



Le idee, una volta condivise, si trasformano in idee più grandi.
— Chris Anderson



Quando un nuovo progresso fatto in qualche area della nostra quotidianità cambia drasticamente tutto, provoca una rivoluzione. Così è stato sia per la Prima che per la Seconda Rivoluzione Industriale.

La Prima ha soppiantato le attività artigianali, introducendo, alla fine del XVIII secolo, la macchina a vapore e dando vita a un nuovo benessere che sconvolse l'economia rurale legata ai tessuti manufatti. La Seconda, segnata dal passaggio alle catene di assemblaggio fra il 1850 e la fine della Prima Guerra Mondiale, ha introdotto la produzione in serie, aiutata dal ruolo essenziale che ebbero le scoperte dell'epoca, come il motore a scoppio e l'elettricità. Queste stravolsero i ritmi di vita nelle città perché avevano il potere di liberare il tempo che veniva reinvestito per produrre idee. Idee frutto della forte alleanza, mai verificatasi in precedenza, fra scienza, tecnica e industria che portò a una moltitudine di innovazioni che oggi diamo per scontate come il primo film, il primo telefono, il primo frigorifero, la prima lampadina elettrica e persino la Coca-Cola. Tutto ciò assicurò all'Europa e agli Stati Uniti la supremazia tecnica in tutto il Mondo.

La domanda che si dovrebbe fare adesso è se l'Era dell'Informazione in cui viviamo, iniziata intorno agli anni Cinquanta e fatta di bit in un universo chiamato Web (← Anderson C., *Makers. Il ritorno dei produttori: per una nuova rivoluzione industriale*, Rizzoli, 2013), possa essere considerata una Terza Rivoluzione Industriale? Il Web è sì riuscito nell'impresa di rendere democratici gli strumenti dell'invenzione e quelli della produzione ma il suo scopo è sempre stato "solo" quello di connettere persone, non ha "prodotto" nulla. Rivoluzione quindi sicuramente sì, ma Industriale ancora no. Serve che i bit si facciano atomi e che tutto quello che negli ultimi decenni abbiamo progettato si concretizzi in macchine e prodotti che cambino, ancora una volta, il modo in cui oggi facciamo le cose.

GLI ATOMI SONO I NUOVI BIT

Questa rivoluzione può sembrare strana, forse perché tanto diversa quanto simile alle precedenti; e come in un upgrade, le è stato affiancata la dicitura 3.0! Numero non solo cronologico, ma basato sui concetti chiave dell'informatica e del web: è diffusa, è democratica e non è legata ad economie di scala. In pratica tutti ne possono fare parte e "l'unica differenza fra produrre una singola unità o migliaia sta in quale opzione scegliamo nel menu e quanto siamo disposti a spendere", restando fissi i costi unitari, sempre per citare l'ex direttore di Wired US Chris Anderson. Oggi, chiunque abbia un'invenzione o un buon progetto può inviare i suoi file a un service che lo produce direttamente, oppure realizzarlo lui stesso con alcuni strumenti digitali di fabbricazione, come le stampanti 3D. Così tutti siamo makers, ci siamo nati, piccoli ma globali, e generiamo con-

nessioni che convergono in luoghi che hanno bisogno di una nuova parola per essere identificati, i FabLab.

MAKERS: PICCOLI E GLOBALI

Si è di fronte ad una Terza Rivoluzione che a tutti gli effetti può essere definita Industriale ma che va verso la direzione opposta, cioè verso la de-industrializzazione, minando alla base i concetti di produzione di massa, della dicotomia tra prototipo e prodotto, fra produttore e consumatore. Il prototipo coincide con il prodotto perché ogni prodotto è pezzo unico. Il fruitore può coincidere con il fabbricatore, che a sua volta coincide con il progettista. Le idee viaggiano in forma digitale e ogni attore del processo può introdurre le proprie modifiche prima di produrre l'oggetto oppure può modificarlo durante l'uso e adattarlo alle nuove esigenze, essendo appunto fruitore e progettista al tempo stesso.

L'IDEA DI FABBRICAZIONE STA CAMBIANDO

L'avvento del personal computer non diede solo l'opportunità di creare un nuovo business ma era anche e soprattutto una forza che di lì a poco avrebbe cambiato il mondo. Il Web è forse la più grande "arma di istruzione di massa" che l'uomo abbia mai creato (come dice il giornalista Riccardo Luna), ma nacque da Tim Berners-Lee mentre era ricercatore al Cern di Ginevra. Adesso si sta lentamente tornando dal virtuale al reale, partendo dal piccolo per arrivare a qualcosa di grande.

I figli del movimento moderno hanno assistito al passaggio dal tubo catodico al LED, dal compact disk ai lettori mp3, dalle cabine telefoniche all'iPhone. In mezzo a tutto questo hanno inventato e spesso anche fallito, ma sono cresciuti con la consapevolezza che le idee, una volta condivise, diventano idee più grandi e hanno la capacità di creare prodotti che il mondo vuole ma non lo sa ancora; passando cioè dal creative commons all'open source. E questa è la più bella forma di innovazione che ci possa essere.

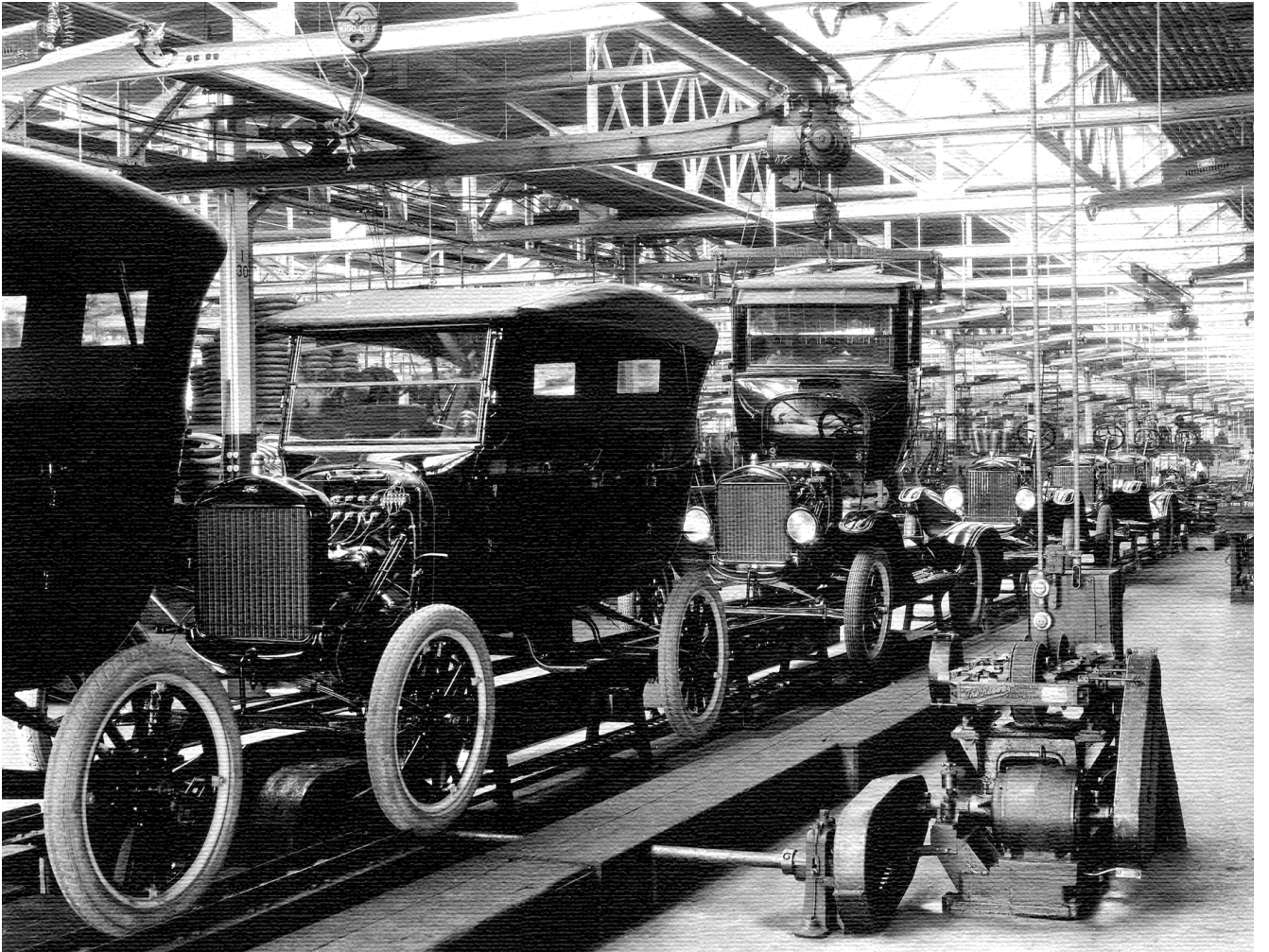
Inventa, Sbaglia, Innova.

(← Payoff Wired Italia, redesign 2014)

PRIMA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE [1]



SECONDA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE [2]



UOMINI

L'EVOLUZIONE DELLA SPECIE: L'HOMO FABER

Nel tentativo di mettere a fuoco la nuova figura del Maker, si sono avvicendati molti leader di varie discipline con la determinazione di chi è convinto che darne una definizione sia importante per circoscrivere i confini ed esplorarne il territorio. Così sono nate infinite spiegazioni che però non sono state quasi mai esaustive. La riflessione più acuta, che non è una definizione, ma che appare molto importante, è quella di David Lang (“guru” del movimento dei Makers) che nel suo libro (← Lang D., *Zero to Maker*, Maker Media Edizioni, 2013) scrive « Learn (just enough) to make (just about) anything ». Anche Bertram Niessen, ricercatore nonché professore di Sociologia dei Nuovi Media all'Università Statale di Milano, dice: « non esiste una definizione univoca di “Maker” semmai una, forse positiva, confusione terminologica » (← www.doppiozero.com). Questa “confusione” rimanda alle tipologie organizzative con al centro di tutto una forte intersezione tra cultura, tecnologia e società. Comunque, in senso stretto, il termine Maker si riferisce, più che a una persona in senso lato, a un movimento sub-culturale americano nato dalle eccellenze del M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology) (← Acanfora M., *Maker A-Z*, Altreconomia Edizioni, Milano, 2014), dall'imprenditorialità della Silicon Valley e dalla rivista Make. Il primo nucleo è quindi molto “americano” e la sua cultura attinge anche dalla steam punk e all'idea che il fai-da-te (do-it-yourself o DIY) sia un valore. A questo fenomeno si sono via via aggiunte altre correnti: il craftivism, movimento che negli USA comprende persone che si dedicano a lavori manuali per loro più appaganti dei tradizionali e lo fanno spesso per motivazioni sociali o politiche; il mondo degli Hacker, legato soprattutto alle tecnologie e ai software, il tutto mescolato con la cultura delle start up americane.

COMINCI DAL GARAGE E SPERI DI DIVENTARE GOOGLE

Per il Maker, è normale produrre oggetti e macchine tecnologiche fai da te, ma è altrettanto naturale condividere i propri interessi, i progetti, le informazioni e i dubbi con la comunità on line di riferimento: è lo spirito del do it together (DIT) col quale si collabora a distanza e magari si migliora il lavoro già fatto da qualcun altro, come ad esempio già da qualche anno è possibile fare su www.shapeways.com. Queste persone sono quindi, un'evoluzione contemporanea del DIY tecnologico che, grazie

a internet e alla condivisione della conoscenza, fanno parte di una comunità digitale fondata sulla filosofia dell'open source. Esse riscoprono altresì la possibilità di realizzare idee in proprio, senza essere l'anello terminale di una catena manifatturiera e commerciale. Non si limitano a risolvere (si) un problema ma imparano dal processo. I Makers sono quindi coloro che fanno e che utilizzano per “fare” tutte le novità tecnologiche di produzione digitale. Appropriato è il rapporto semantico fra l'artigiano e il Maker e la definizione più corretta potrebbe essere quella di “artigiano digitale” o per dirla con la definizione sul sito della “Makerfaire” di Roma: “il Maker è l'hobbista tecnologico del ventunesimo secolo”. Ancora una volta, per comprendere meglio il fenomeno dei Makers, ci vengono in aiuto gli scritti di David Lang:

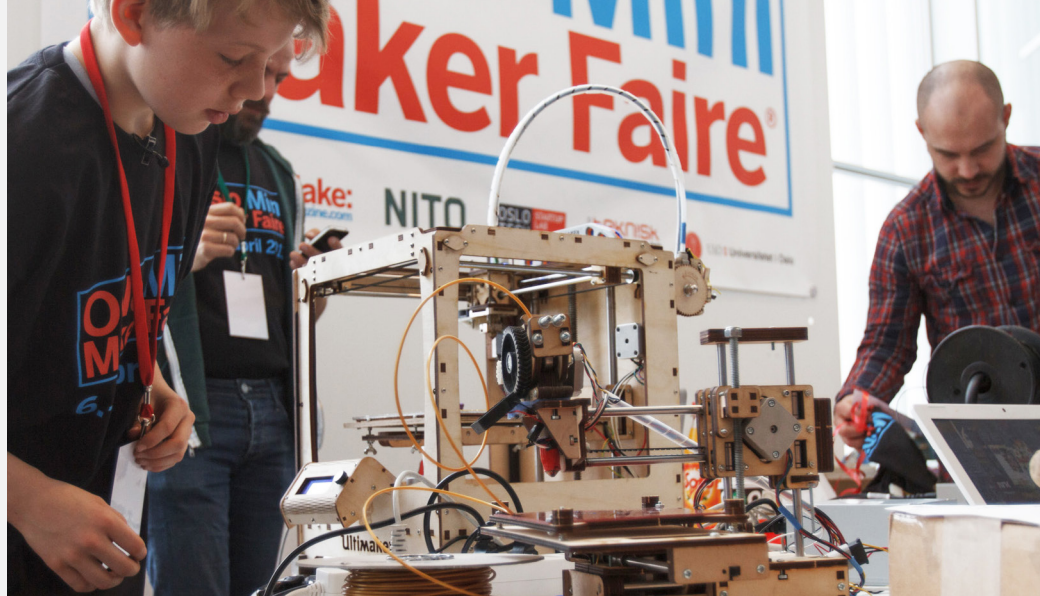
« C'è una soddisfazione molto potente, nel costruire una cosa che non solo è fatta con le proprie mani, con materiali off the shelf e strumenti accessibili a chiunque, ma è anche molto meno cara dei prodotti commerciali disponibili. C'è l'orgoglio nel costruirlo, ma anche nel modo in cui lo si fa. »

« Making - continua Lang - è assolutamente uno sport di squadra. Alla base i Makers sono un mucchio di gente collaborativo e interconnesso. Si incontrano on line, condividono le proprie idee sui blog o nei gruppi di discussione. Forniscono i propri design e collaborano sui progetti con persone di tutte le parti del mondo. L'esatto contrario della separazione competitiva che governa il mondo »

(← Lang D., *Zero to Maker*, Maker Media Edizioni, 2013)

Il passaggio da una generazione di menti sedotte dal software, ad una che sta tornando all'hardware è sintomo dei tempi che cambiano. Una specie di transizione in cui però gli atomi sono cambiati, si sono evoluti, avvicinandosi sempre più al modo di funzionare dei bit: la cosiddetta Internet delle cose. Non è stato un processo semplice, né tantomeno si è ancora concluso. Ci vorrà del tempo, perché gli atomi sono “pesanti” e altrettanto lo sono le conseguenze di un loro fallimento.

Che cosa dunque distingue un Maker da un artigiano? I Makers hanno la volontà di riconoscere il valore della



condivisione del proprio lavoro, qualsiasi cosa si faccia; nell'artigiano classico c'è l'atteggiamento opposto, ovvero di "protezione" di quello che si sta facendo: depositare un brevetto e poi magari venderlo a qualche multinazionale.

Manca nei Makers anche il corporativismo tipico dei "metastieri": il lavorare diventa collaborativo, trans tecnologico, con una forte commistione di competenze in ambiti manuali, intellettuali, digitali e non.

LUOGHI

DOVE SPERIMENTARE E SPORCARSI LE MANI

« How will we live, learn, work, and play when anyone can make anything, anywhere? »

Gershenfeld N.

(→ "How to Make Almost Anything" Foreign Affairs, dicembre 2012)

Elementi essenziali del mondo dei Maker sono i FabLab (Fabrication Laboratories). Sono dei veri e propri laboratori, ma in scala ridotta, che mettono a disposizione gli strumenti necessari per la realizzazione di progetti di digital fabrication, cioè tutte quelle attività che comportano la trasformazione di dati in oggetti reali e viceversa. Per esempio da un disegno CAD si può fabbricare un oggetto, mentre per il passaggio inverso occorre uno scanner 3D che converta forme tridimensionali in dati, modificabili ed esportabili anche attraverso internet.

I macchinari a disposizione di un FabLab sono vari e comprendono: stampanti 3D, frese a controllo numerico (CNC), piegatrici, laser cutter, materie prime di ogni tipo, schede elettroniche e microprocessori.

**NON DEVI CHIEDERE
IL PERMESSO A NESSUNO**

La forza più importante dei FabLab è quella di aver democratizzato l'accesso del pubblico alle tecnologie di fabbricazione digitale e di aver fondato sulle persone, su ogni persona, il proprio motore di combustione. Nascono per creare micro comunità di produzione, autoproduzione e prototipazione con ampie capacità di comunicazione e, benché la parte tecnica sia importante, è comunque sempre la base umana ad essere imprescindibile.

Dice Costantino Bongiorno (ingegnere meccanico e designer che lavora come maker recruiter presso Arduino): *« per me il FabLab ideale è quello che consente di coinvolgere più gente possibile, di essere un vero e proprio centro di relazioni reali »*, pertanto l'accesso alle macchine è importante, ma il discorso centrale è la capacità di generare commistioni, di favorirle e svilupparle. (→ Acanfora M., Maker A-Z, Altrecronomia Edizioni, Milano, 2014)

I FabLab sono nati quasi per caso grazie al Center for Bits and Atoms (CBA) presso il MIT, con un primo laboratorio a Boston e poi con un'incessante crescita non pianificata. Questa è arrivata anche in Europa, soprattutto in quei paesi dove la cultura tecnologica era più radicata, come ad esempio la Germania e i Paesi Bassi. Oggi, in tutto il mondo, se ne contano più di 1200. (→ www.fablabs.io)

- Afghanistan 1
- Arabia Saudita 10
- Argentina 12
- Australia 3
- Austria 9
- Bahrain 2
- Bangladesh 1
- Belgio 19
- Benin 2
- Birmania 1
- Bolivia 1
- Brasile 40
- Bulgaria 1
- Burkina Faso 2
- Cambogia 1
- Camerun 1
- Canada 22
- Cile 8
- Cina 20
- Colombia 8
- Corea del Sud 17
- Costa d'Avorio 3
- Costa Rica 3
- Croazia 1
- Danimarca 7
- Ecuador 6
- Egitto 9
- El Salvador 1
- Emirati Arabi Uniti 6
- Etiopia 1
- Filippine 7
- Finlandia 5
- Francia 153
- Georgia 25
- Germania 46
- Ghana 1
- Giamaica 1
- Giappone 17
- Giordania 3
- Grecia 3
- Guadalupa 1
- Guatemala 1
- Guyana francese 1
- Hong Kong 1
- India 45
- Indonesia 3
- Iran 4
- Irlanda 4
- Islanda 8
- Israele 5
- Italia 134
- Kazakistan 2
- Kenya 2
- Kuwait 3
- Lettonia 2
- Libano 2
- Lituania 2
- Lussemburgo 2
- Macao 1
- Malesia 1
- Mali 2
- Malta 1
- Marocco 6
- Messico 14
- Montenegro 1
- Namibia 1
- Nigeria 1
- Norvegia 5
- Nuova Zelanda 6
- Oman 1
- Paesi Bassi 32
- Palestina 1
- Panama 1
- Paraguay 2
- Perù 11
- Polonia 13
- Porto Rico 4
- Portogallo 19
- Qatar 2
- Regno Unito 41
- Repubblica Ceca 3
- Riunione 2
- Romania 1
- Ruanda 3
- Russia 31
- Senegal 2
- Serbia 4
- Singapore 3
- Slovacchia 3
- Slovenia 3
- Spagna 47
- Stati Uniti d'America 164
- Sudafrica 8
- Suriname 1
- Svezia 1
- Svizzera 17
- Taiwan 13
- Thailandia 1
- Togo 1
- Trinidad e Tobago 1
- Tunisia 3
- Turchia 7
- Ucraina 6
- Ungheria 1
- Uruguay 1
- Vietnam 7



MONDO FABLAB

Italia

A fare da apripista al primo, vero, FabLab del paese c'è stata "Stazione Futuro". Il 18 marzo 2011 infatti, in occasione dei festeggiamenti per il 150° anniversario dell'Unità d'Italia, venne inaugurata alle Officine Grandi Riparazioni di Torino una mostra che già dal suo sottotitolo « *Qui si rifà l'Italia* » parlava del futuro del vivere contemporaneo, declinato in aspetti quali l'ambiente, l'abitare, il lavoro, l'energia e la salute. 12 aree tematiche e 150 progetti, tra i quali c'era una delle primissime stampanti 3D MakerBot all'interno della sezione della mostra dedicata al futuro del lavoro. Era uno spazio di soli 4 m² ma che riuscì ad attirare così tanta gente da divenire la vetrina di tutto quello che sarebbe venuto dopo. Non è un caso che il primo laboratorio di manifattura digitale venne inaugurato l'anno successivo nella stessa città.

FABLAB TORINO

▀ Via Egeo 16, 10134, Torino

Ad inizio 2012, Officine Arduino (realtà che si occupa di promuovere corsi e attività di formazione) decise di investire sull'idea del FabLab. Ne è nata una vera sperimentazione in cui l'impresa ha finanziato un laboratorio dove si è liberi di sperimentare, lasciando all'azienda la possibilità di "pescare" fra i progetti degli associati e trasformare quelli più validi in opportunità di business. La motivazione "economica" comunque non è alla base della progettualità di un Maker; spesso autocostruire significa spendere il doppio dei soldi, ma viene fatto per la realizzazione di oggetti particolari e indirizzati alla soluzione di domande specifiche che altrimenti non avrebbero risposta.

Ad oggi i makerplace italiani sono 134, tra cui:

FABLAB MILANO

▀ Via Simone Schiaffino 11, 20158, Milano

« *FabLab Milano è uno spazio all'interno del quartiere Bovisa dove le stampanti 3D sono sempre in azione e determinano un ronzio che potremmo confondere con il circolare dei pensieri.* »

Massimo Temporelli

(← dal blog del FabLab di Milano)

Massimo Temporelli, il primo presidente, è laureato in Fisica ma da sempre è appassionato di nuove tecnologie. Per lui la scoperta del mondo dei Makers e lo stare nei

FabLab è stato come vivere la storia in diretta, quando crolla un sistema e ce n'è uno nuovo che avanza incalzante. In questo movimento ha trovato un valore aggiunto per la professionalità delle nuove generazioni e lavorando in un FabLab ne ha riscontrato il lato imprenditoriale. Per questo ha deciso, insieme ad altri soci, di aprire a Milano uno spazio dedicato a questi "tempi nuovi", convinto com'è che questo spazio aspiri ad essere una bottega rinascimentale, luogo strategico di questa nuova epoca che potrebbe proporre un nuovo umanesimo. Pensa che « *la produzione industriale non nobilita il lavoro dell'uomo e che invece nei FabLab ogni operazione anche manuale, è un'operazione intellettuale* ». Scrive inoltre sul blog del FabLab Milano: « *luoghi come questo sono generatori naturali di idee, buone idee. Idee che portano al business e che cambiano il mondo. Nient'altro che questo, solo il futuro* ».

WITLAB

▀ Piazza Manifattura 1, 38068, Rovereto

Nato all'intero di Progetto Manifattura (un'iniziativa promossa dalla Provincia autonoma di Trento), è uno dei più grandi laboratorio di fabbricazione d'Europa. 300 m² nati con uno scopo ben preciso, come ne parla il co-fondatore Andrea Saiani « *Ci siamo chiesti cosa potevamo offrire noi alle imprese, o a chi avesse un progetto fisico da realizzare. Perché allora non mettere in condivisione le stesse macchine che già utilizzavamo, aggiungendo la nostra esperienza di sviluppo?* ». Per entrarci basta un'idea e un budget minimo per realizzarla, dato che l'utilizzo dei macchinari si paga a consumo.

OFFICINE GATTAGLIO

▀ Via del Gattaglio 2, 42123, Reggio Emilia

Aperto a marzo 2016, all'interno di un'autofficina dismessa, è un luogo a metà strada fra laboratorio e studio, come dice uno dei suoi ideatori, il designer Marcello Ligabue. Assieme a lui, un costruttore di skateboard e tre architetti, tra cui Francesco Bombardi, che sta progettando unità abitative sperimentali che si autocostruiscono, nonché già fondatore e manager del FabLab Reggio Emilia (2012). Ci sono voluti due anni per metterlo su, fra tavoli fatti di legno e tubi idraulici, uffici con postazioni computer, spazio eventi e showroom dove mostrare i progetti realizzati.

In generale, quando si parla di innovazione si è abituati a pensare al ruolo delle grandi aziende o delle università e dei centri di ricerca; non si pensa alle piccole fabbriche, microfactories di persone pratiche che hanno idee geniali, ma non hanno la spinta del marketing né capitali da investire nella comunicazione. Il FabLab in questo senso è anche un luogo dove c'è qualcuno disponibile a vedere il tuo lavoro, la tua invenzione.

STRUMENTI

LE TECNICHE ADDITIVE

Quali sono gli altri elementi del mondo dei Makers? Si è già parlato dei luoghi in cui lavorano, i FabLab, ma la condivisione presuppone anche degli strumenti, attraverso i quali arrivare alla digital fabrication. In sostanza, quali macchine servono per poter realizzare qualcosa? La stampante a getto di inchiostro, ad esempio, è ormai un apparecchio presente in tutte le case e fa parte della quotidianità di ognuno. Si potrebbe dire che è quasi scontata come strumento di lavoro ma col tempo è cambiata, si è evoluta imparando a fare cose nuove e assumendo il più appropriato nome di stampante 3D.

Evoluzione naturale della stampa 2D, è considerata una forma di produzione additiva, mediante cui vengono creati oggetti tridimensionali dalla sovrapposizione di strati di materiale. Sembra una nuova tecnologia ma, in realtà, è stata ideata quasi trenta anni fa; era infatti il 1986 quando **Charles Hull** brevettò l'*Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography* (↪ US 4575330, 11 marzo 1986), un apparecchio per la produzione di oggetti tridimensionali per mezzo della Stereolitografia, al quale seguì la creazione del Sistema 3D e del lancio commerciale del primo prototipo.

UNA SOLA DIMENSIONE IN PIÙ PUÒ TUTTO

Iniziò così, nella seconda metà degli anni '80, l'era della prototipazione rapida quando lo stesso Hull fondò la 3D Systems a Valencia e brevettò materiali capaci di solidificazione e materiali capaci di cambiare lo stato fisico.

In quegli anni, non fu solo Hull a proporre le prime macchine, ma vi furono anche altri ricercatori che stavano pensando alla prototipazione rapida: come Carl Dekard (DTM), Michael Feygin (HELYSIS) e **Scott Crump**. Quest'ultimo, laureato in ingegneria meccanica alla Washington State University, amava realizzare piccoli oggetti nel tempo libero. Nulla di strano, se non fosse che per il compleanno della figlia iniziò a lavorare su una rana giocattolo fatta di cera e polietilene estruso, e dopo averla realizzata, si interrogò su come automatizzare la produzione per realizzarne di altre. Arrivò a creare di fatto una vera e propria stampante 3D in casa. Brevettò in seguito la tecnologia e insieme alla moglie fondò Stratasy, nel 1989 in Minnesota, per commercializzare la sua rivoluzionaria invenzione.

All'inizio però la costruzione di un singolo prototipo appariva economicamente svantaggiosa alle industrie. Per esempio, il primo modello della macchina di Crump costava intorno ai 130.000 dollari. (↪ *Stampanti 3D, a guida completa*. Computer Idea, Milano, Sprea Editori, 2014. Rivista tecnologica)

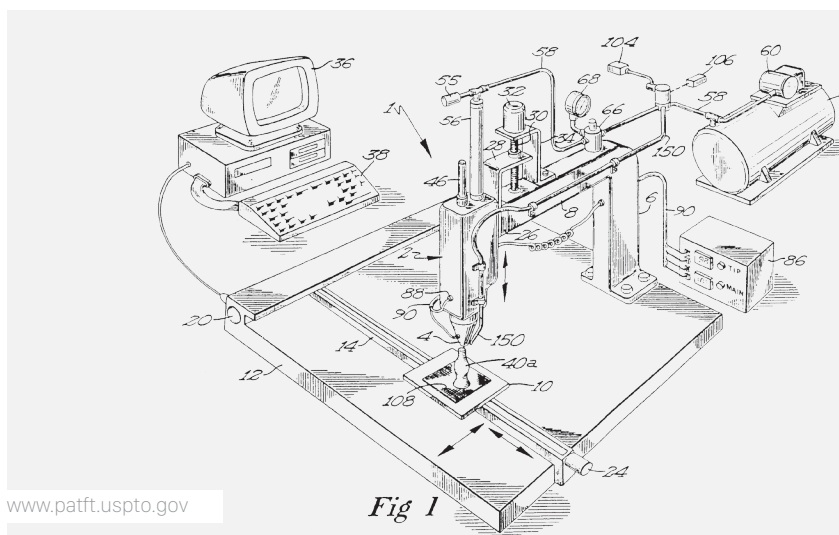
La spinta all'innovazione venne dall'idea sottesa al termine rapid tooling, che permetteva di produrre un modello e cambiarlo rapidamente e a buon mercato; ma anche questo non ebbe una spinta propulsiva nell'industria.

Fu negli anni 90, quando venne sviluppata dal Massachusetts Institute of Technology una nuova tecnologia basata sul getto legante (binder jetting) che si ebbe maggiore fermento tecnologico ed industriale.

Questa nuova tecnologia fu chiamata "stampa 3D" e fu proprio nel 1991 che si ebbe il suo primo lancio commerciale con Soligen. Nacquero così aziende come la Z Corporation che già nel 1996, con i suoi sistemi di stampa in 3D basati sulla licenza del MIT, superò i limiti della tecnologia, cioè velocità e costo, procurandosi un buon successo. Cos'è dunque la prototipazione rapida (RP)?

« *Figlia degli anni '90, la prototipazione Rapida (RP) è una tecnologia che rende possibile la produzione in poche ore e senza l'ausilio di utensili, di oggetti di geometria comunque complessa, direttamente dal modello matematico dell'oggetto realizzato su un sistema CAD tridimensionale.* »

(↪ *La storia completa delle stampanti 3D / 1982 - oggi*. Articolo di Onniboni L., 22 ottobre 2014)



Apparato stampante di S. Crump [4] ↪ www.patft.uspto.gov

PASSI

LA NOTORIETÀ DELLA TECNOLOGIA

Si parla di stampa 3D come fosse qualcosa di nuovo ma in realtà non è così. C'è molta più storia e ricerca di quanto si pensi e c'è una ragione che spiega il perché soltanto adesso se ne parli così diffusamente.

Negli anni '90 ci fu prima un boom di crescita di questa industria, poi un progressivo decremento dovuto al fatto che la tecnologia non era stata diffusa, non era accettata dai professionisti e non appariva economicamente vantaggiosa. Ha guadagnato popolarità negli ultimi quindici anni e possiamo spiegare almeno in due modi questa forte accelerata: il primo è strettamente connesso alla scadenza

dei brevetti sulle tecnologie di stampa che ha permesso a qualsiasi azienda di sfruttare quei metodi per realizzare le proprie stampanti 3D. Crump, il padre inventore, ad esempio lo aveva registrato per 20 anni il 30 ottobre 1989.

(← S. SCOTT CRUMP, *Apparatus and method for creating three-dimensional objects*, US 5121329, 30 ottobre 1989)

La seconda ragione risiede nella forte interdipendenza con il mondo dei computer ed è quindi esplosa quando questi sono entrati di prepotenza nella strutture aziendali; processo favorito anche della rapida discesa dei prezzi dei computer stessi.

PAROLE

PROTOTIPAZIONE RAPIDA E DIGITAL MANUFACTURING

La prototipazione rapida è stata una vera e propria rivoluzione. Negli ultimi anni il costo delle stampanti 3D si è notevolmente ridotto, rendendole accessibili a una moltitudine di imprese ma anche a singole persone.

Così, l'applicazione delle tecnologie digitali e di stampa 3D sui sistemi di produzione di oggetti, ha determinato la naturale evoluzione della manifattura, sia essa su larga scala o rivolta alla piccola realtà artigiana. Da ora in poi parleremo quindi di Digital Manufacturing, intendendo con questo termine proprio il rinnovamento del sistema della manifattura mediante tecnologie digitali e stampa 3D, utilizzate in modo integrato per l'innovazione del prodotto, la sperimentazione, la prototipizzazione e la produzione dei beni, consentendo l'ottimizzazione dei processi di fabbricazione, commercializzazione e distribuzione in ambiente virtuale.

È chiaro però che la stampa 3D rappresenta solo una parte delle tecnologie legate al Digital Manufacturing; nel processo entrano in gioco anche altre macchine, come quelle a controllo numerico (CNC e Laser Cutter), già ampiamente diffuse e non collegate all'innovazione e al cambiamento.

TECNOLOGIE 3D

Gli attrezzi del mestiere

Sappiamo già che le tecnologie legate al Digital Manufacturing non comprendono solo stampanti 3D ma quali sono le altre? Proviamo a riassumerle:

1. **Macchine a controllo numerico (CNC)**
2. **Laser Cutter**
3. **Scanner 3D**

Le tecnologie CNC (computer numeric control) e il Laser Cutter sono basate sul concetto di manifattura sottrattiva, in cui attraverso processi come la fresatura, la torchiatura, il taglio ecc... dalla materia iniziale viene ricavato l'oggetto, rispettando un processo produttivo sequenziale. Gli scanner 3D permettono invece di sviluppare un progetto a partire da un oggetto già esistente, attraverso un'inversione di processo che va dal reale al digitale, cioè mappando l'oggetto attraverso una nuvola di punti che vengono poi utilizzati dal calcolatore per la sua restituzione tridimensionale.

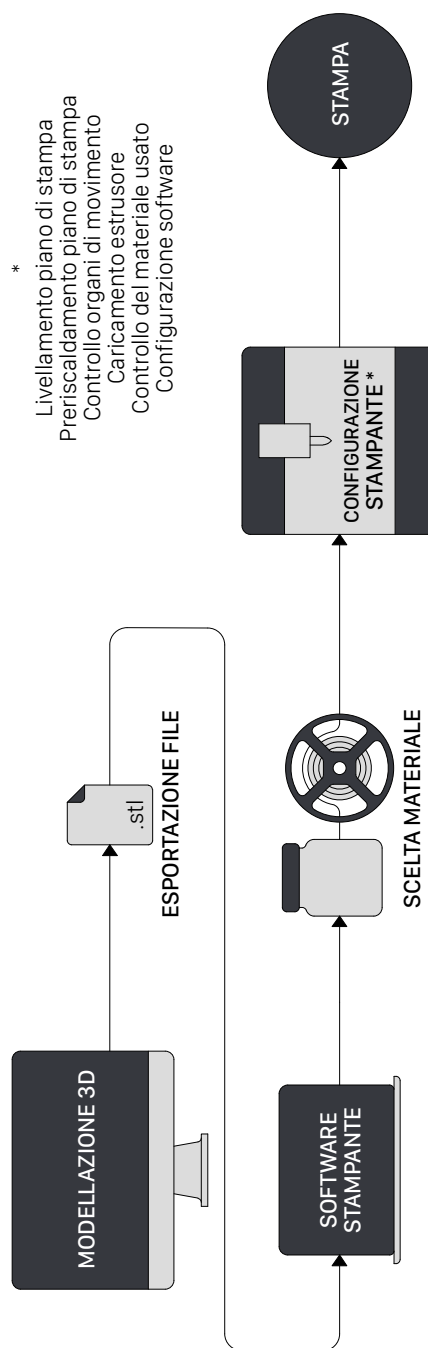
STAMPA 3D

FROM DESIGN TO PRODUCTION

La prima fase del processo di produzione degli oggetti stampati è rappresentata dalla modellazione. In questa fase ogni dettaglio dell'oggetto viene descritto con l'aiuto di un software CAD (computer aided design) per la modellazione in 3D. Si crea, quindi, un file che successivamente subisce un processo di slicing, che suddivide il modello virtuale dell'oggetto in "strati" che la stampante potrà poi creare in successione. Alla fine si otterrà un file nel formato compatibile con la stampante 3D scelta.

Quando questa prima fase è conclusa, a meno di errori nel modello (dovuti alle geometrie dette non-manifold, vale a dire la rappresentazione di un solido che nella realtà non esiste) e in fase di esportazione (causati dalla conversione in formato .stl), si passa alla scelta della tipologia di stampa più appropriata. Ne esistono molte e sarebbe dispersivo citarle tutte, così si parlerà solo delle principali e per maggiore chiarezza verranno suddivise in funzione del metodo che utilizzano per realizzare gli oggetti.

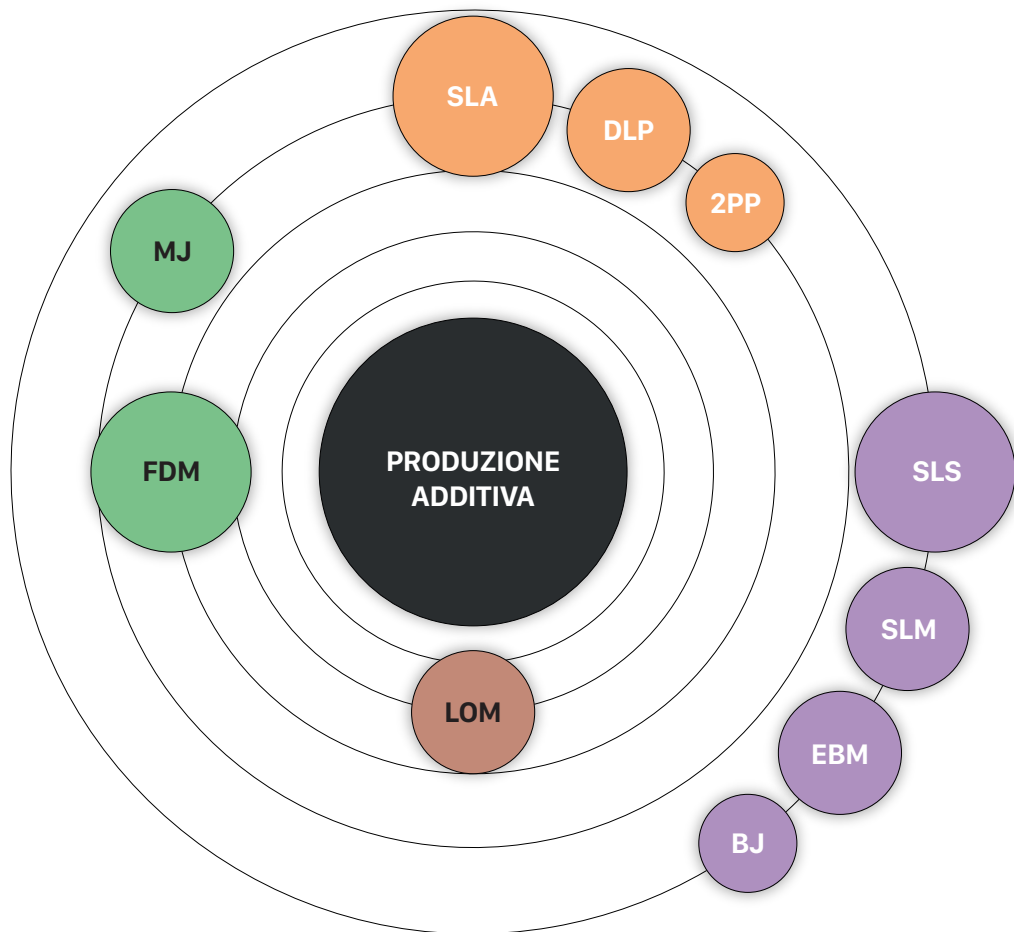
Bastano solamente 5 passi



1. **Tecnologie di estrusione (FDM)**
2. **Tecnologie di foto polimerizzazione (SLA)**
3. **Tecnologie granulari (SLS)**
4. **Tecnologie di laminazione (LOM)**

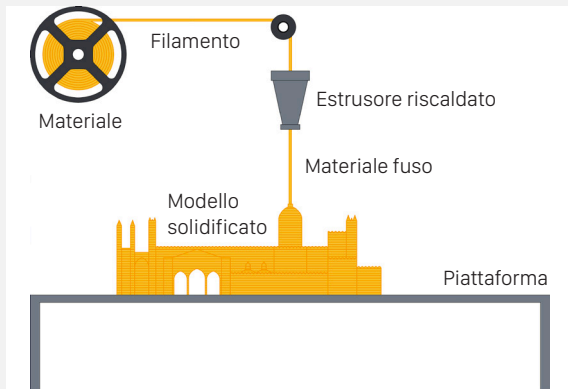
Scelta la tipologia, il passo successivo è quello di importare il file nel software della stampante che gestirà il processo di stampa; in pratica dice alla stampante cosa deve fare. Si sceglie il materiale da utilizzare (esistono più materiali per

ciascuna tecnologia) e si configura la macchina. Questa è forse la fase più delicata di tutto il processo perché se va storto qualcosa si vedrà solo dopo aver avviato il processo di stampa, con la ovvia conseguenza che l'oggetto che verrà fuori sarà da buttare. Non c'è comunque uno schema preciso ma sono l'esperienza e gli sbagli che portano ad una progressiva ottimizzazione, limitando gli errori, gli sprechi di materiale e soprattutto il tempo fra la genesi del progetto, su schermo, e la sua materializzazione fisica.



1. TECNOLOGIE DI ESTRUSIONE

Fused deposition modeling (FDM)



La modellazione a deposizione fusa è la più diffusa fra le tipologie di stampa ed è prevalentemente utilizzata dalle stampanti di tipo entry-level. Un filo di materiale (ci sono diversi diametri, i più utilizzati e reperibili in commercio sono di 3 e 1,7 mm) viene depositato secondo il modello CAD da un estrusore a livelli progressivi. Quest'ultimo è quasi sempre riscaldato da una resistenza (fino a temperature di 250°C) e il materiale raffreddandosi si solidifica sullo strato precedente.

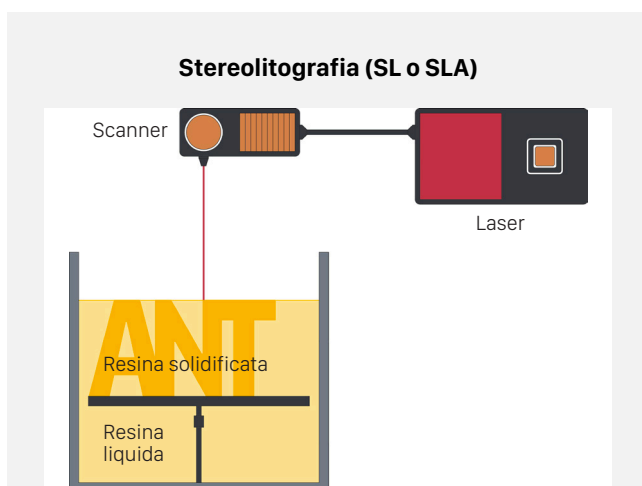
- M Polimeri (ABS, PLA, policarbonato ecc.) cemento, ceramica, legno e ingredienti alimentari (prevalentemente cioccolato e zucchero).
- V Possibilità di utilizzare più materiali contemporaneamente durante il processo di stampa; Materiali resistenti.
- S Necessità di strutture ausiliarie di supporto e di post-produzione; Slittamento del primo strato sul piano al passaggio del secondo strato; Necessità di preriscaldare il piano di getto; La superficie dell'oggetto spesso non è liscia.
- A Perlopiù prototipi e produzione di piccoli oggetti.

Material Jetting (MJ)

È una particolare tecnologia di stampa, molto simile alle classiche stampanti ink-jet presenti sul mercato e a metà strada fra la tecnologia di estrusione e quella di fotopolimerizzazione. A differenza della FDM, qui non c'è un filamento plastico ma il materiale fuso viene distribuito sul piano, layer-by-layer, da centinaia di piccoli ugelli di una testina di stampa. Gli strati solidificano grazie all'utilizzo di luce ultravioletta (UV) e i possibili oggetti della forma complessa che si va a realizzare vengono sorretti da un materiale di supporto, solubile e con caratteristiche differenti dal primo, che viene contemporaneamente stampato da altri ugelli.

- M Cera e fotopolimeri termoindurenti (simili a quelli utilizzati nella SLA)
- V Elevata precisione di stampa e qualità delle superfici, grazie ad una dimensione del tratto minima di 0,1 mm, con spessore minimo dello strato pari a 0,013 mm; possibilità di utilizzare più colori; capacità di stampare parti diverse in materiali differenti, che possono essere anche miscelati fra loro, prima dell'erogazione, creando un materiale con proprietà fisiche peculiari.
- S Le parti realizzate hanno scarse proprietà meccaniche, che degradano col tempo; processo di stampa lento; costo elevato che restringe di molto gli ambiti di applicazione.
- A Nel settore medico per la realizzazione modelli anatomici a scopo educativo; odontoiatrico e gioielli, sono spesso utilizzati per la fusione a cera persa.

2. TECNOLOGIE DI FOTOPOLIMERIZZAZIONE



Brevettata da Charles Hull nel 1986, la fotopolimerizzazione in vasca è un processo di manifattura additiva con il quale un fotopolimero liquido (solitamente resina), contenuto in un recipiente dove è immersa la base di appoggio, viene selettivamente trattato da una polimerizzazione attivata dalla luce. A questo scopo viene usato un raggio laser che indurisce il primo strato della resina; successivamente la base viene abbassata, rimanendo immersa nel materiale, e il primo strato funge da base di appoggio per quello successivo. Il processo è ripetuto finché non si raggiunta l'altezza desiderata e lo spessore di ciascuno strato dipende dal modello di macchina. È la prima tecnologia di manifattura additiva ad essere stata implementata e commercializzata.

- Ⓜ Plastica simile alla gomma, termoplastica, plastica ignifuga e resine trasparenti.
- Ⓥ Resistenza del prodotto alle alte temperature; Alta qualità dell'oggetto; Possibilità di stampare geometrie complesse anche molto sottili.
- Ⓢ Scarsa reperibilità, potenziale tossicità e costo elevato delle resine fotosensibili; Scarsa resistenza meccanica; Tendenza dei prodotti a deformarsi con relativa rapidità nel tempo a causa dell'azione della luce ambiente.
- Ⓐ Prototipi, modelli dentali, per gioielli, ecc.

Digital Light Processing (DLP)

A seconda del tipo di luce impiegata, si parla di SLA (laser) o di DLP, che impiega invece proiettori LED o LCD contenenti una serie di microscopici specchi, chiamati DMD (Digital Micromirror Device), per polimerizzare, generalmente dal basso, uno strato di fotopolimero liquido contenuto in una vasca. Il fotopolimero è esposto alla luce del proiettore DLP in condizioni di luce inattinica, quindi il liquido esposto si indurisce, la piastra di costruzione si muove in alto di pochi decimi di millimetro e il polimero liquido è di nuovo esposto alla luce. Il processo si ripete finché il modello non è finito.

- Ⓜ Fotopolimeri, polimeri a base di cera e plastica.
- Ⓥ Velocità di stampa; Alta risoluzione; Disponibilità di materiali colorati e scarti ridotti.
- Ⓢ Necessità di strutture di supporto e di post-produzione.
- Ⓐ In ambito medico per la produzione di parti per apparecchi acustici e dentali.

Two-Photon Polymerization (2PP)

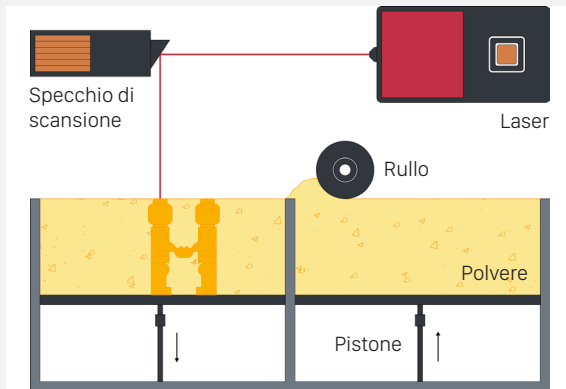
È una tecnologia nano fotonica, anch'essa simile alla SL. La fonte di energia usata è però, in questo caso, un laser a luce pulsata con frequenza dell'ordine dei femtosecondi che induce una reazione chimica altamente localizzata e porta alla fotopolimerizzazione del materiale, con risoluzione fino ai 100nm.

- Ⓜ Resine fotosensibili e materiali biologici.
- Ⓥ Alta precisione; Stampa di oggetti dell'ordine di grandezza dei batteri; Velocità di stampa; Non richiede camere bianche.
- Ⓢ Tecnologia limitata ai materiali fotosensibili.
- Ⓐ Circuiti microelettronici, strutture biomediche per la rigenerazione dei tessuti e strumentazione medica (micro aghi).

3. TECNOLOGIE GRANULARI

A partire dalla SLS sono state sviluppate altre tecnologie per la produzione di oggetti in metallo come la Direct Metal Laser Sintering (DMLS), LaserCUSING e SLM.

Selective Laser Sintering (SLS)



Un laser viene diretto su una superficie ricoperta da materiale in polvere, sinterizzando selettivamente le particelle (cioè il materiale viene parzialmente fuso). Nel processo di solidificazione le molecole si aggregano contribuendo alla formazione dello strato dell'oggetto. Quando lo strato è concluso, la piattaforma di appoggio viene abbassata e un rullo distribuisce dell'altra polvere per formare un nuovo strato sopra il precedente. Il mezzo non fuso serve a sostenere le sporgenze e le pareti sottili della parte che viene prodotta, riducendo il bisogno di supporti ausiliari temporanei per il pezzo da lavorare. La camera di stampa è sigillata per mantenere la temperatura appena al di sotto del punto di fusione della polvere di materiale.

- M Nylon, titanio, alluminio, metalli vari e leghe, polistirene, vetro, ceramica, sabbia, cera.
- V Stampare oggetti con strutture e geometrie complesse; Strutture di supporto non necessarie; Elevata resistenza dei materiali; Controllo porosità del materiale.
- V Eccessiva durata del raffreddamento dopo la stampa; Necessità di infiltrazioni con ulteriori materiali per migliorare la porosità; Risoluzione relativamente bassa; Superfici ruvide.
- A Modelli di studio nei campi più disparati (architettura). Per DMLS: parti per velivoli, oggetti metallici resistenti e leggeri.

Selective Laser Melting (SLM)

È un processo molto simile all'SLS ma invece di utilizzare la sinterizzazione per la solidificazione dei granuli di polvere, fonde totalmente il materiale in modo selettivo, utilizzando un laser ad alta energia.

- M Leghe di titanio, leghe di cromo-cobalto, acciaio inossidabile e alluminio, in polvere.
- V Proprietà meccaniche e fisiche dell'oggetto simili a quelle di un modello ottenuto per fusione tradizionale, senza le criticità (es. fragilità) tipiche dei materiali sinterizzati; Possibilità di creare geometrie complesse.
- S Lento raffreddamento successivo alla stampa.
- A Impianti ortopedici e componenti utilizzati nel settore aerospaziale.

Electron Beam Melting (EBM)

La fusione a fascio di elettroni, sviluppata dall'azienda svedese Arcam, è simile all'SLM e funziona mediante una sorgente ad elevata energia (a 700-1000°C, per ottenere parti prive di tensioni residue e rendere i trattamenti di post-produzione non necessari) composta da un fascio opportunamente concentrato e accelerato di elettroni, che colpisce più volte un materiale in forma micro-granulare provocandone la fusione completa. Il processo di produzione è completamente sottovuoto e questo permette di lavorare anche con dei materiali che altrimenti, reagendo immediatamente con l'ossigeno, produrrebbero composti indesiderati.

- M Metalli e leghe, ad esempio titanio (lega Ti6 Al4V o puro), cobalto e alluminio.
- V Stampa di parti dense senza deformazioni.
- S Considerevole durata del raffreddamento successivo alla stampa.
- A In campo medico (impianti), aerospaziale, automotive e settori industriali specializzati.

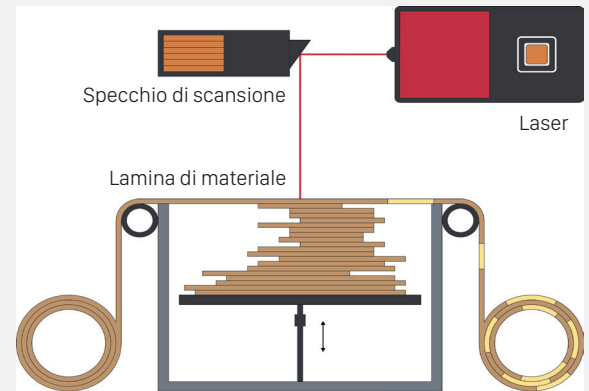
Binder Jetting

Sviluppata dal MIT, è un processo in cui un collante liquido viene selettivamente depositato per amalgamare materiale in polvere. Il processo si svolge attraverso una piattaforma di appoggio che viene ricoperta dalla polvere di materiale. Un collante è selettivamente depositato, secondo il modello CAD, formando uno strato. Successivamente la piattaforma viene abbassata e ricoperta da un nuovo strato di polvere, e si procede così fino ad ultimare l'oggetto che viene poi messo ad essiccare in un forno.

- Ⓜ Sabbia, ceramiche, vetro, polveri, metalli e ingredienti alimentari.
- Ⓥ Non necessita di strutture di supporto; Elevata velocità di produzione; Possibilità di stampare in più colori riducendo i costi di produzione.
- Ⓢ Minore resistenza degli oggetti stampati rispetto a quelli realizzati con tecnologia SLS o SLM.
- Ⓐ Prototipi e stampi per la produzione di oggetti in metallo.

4. TECNOLOGIE DI LAMINAZIONE

Laminated object manufacturing (LOM)



Concludiamo parlando anche della LOM, che rappresentano un processo di manifattura additiva i cui fogli di materiale vengono saldati per formare un oggetto. Le stampanti 3D che lavorano con questo sistema, utilizzano come materiale dei laminati, costituenti la serie di strati che vengono singolarmente processati con sistemi di taglio tangenziale o laser per separare la sezione che interessa il modello dal materiale di scarto. Quest'ultimo a sua volta costituisce un valido materiale di supporto, che verrà rimosso a stampa finita. Gli strati possono essere uniti in tanti modi, inclusi: la saldatura a diffusione, la brasatura, la pressatura, la saldatura laser, l'incollaggio con adesivi, viti e similari. Apparse inizialmente attorno agli anni 90', queste stampanti impiegavano meccaniche derivanti da comuni stampanti laser in bianco e nero. Alcune aziende come Mcor Technologies Ltd impiegano una stampa laser a colori con la deposizione selettiva di adesivo, mentre il taglio dello strato avviene con una lama in metallo duro.

- Ⓜ Carta, polimeri, composti ceramici e metallici.
- Ⓥ Alta velocità di produzione; Modelli in full color con una resa cromatica migliore rispetto all'uso di polveri e collanti.
- Ⓢ Imprecisione.
- Ⓐ Quasi esclusive per la prototipazione rapida.

TRAGUARDI

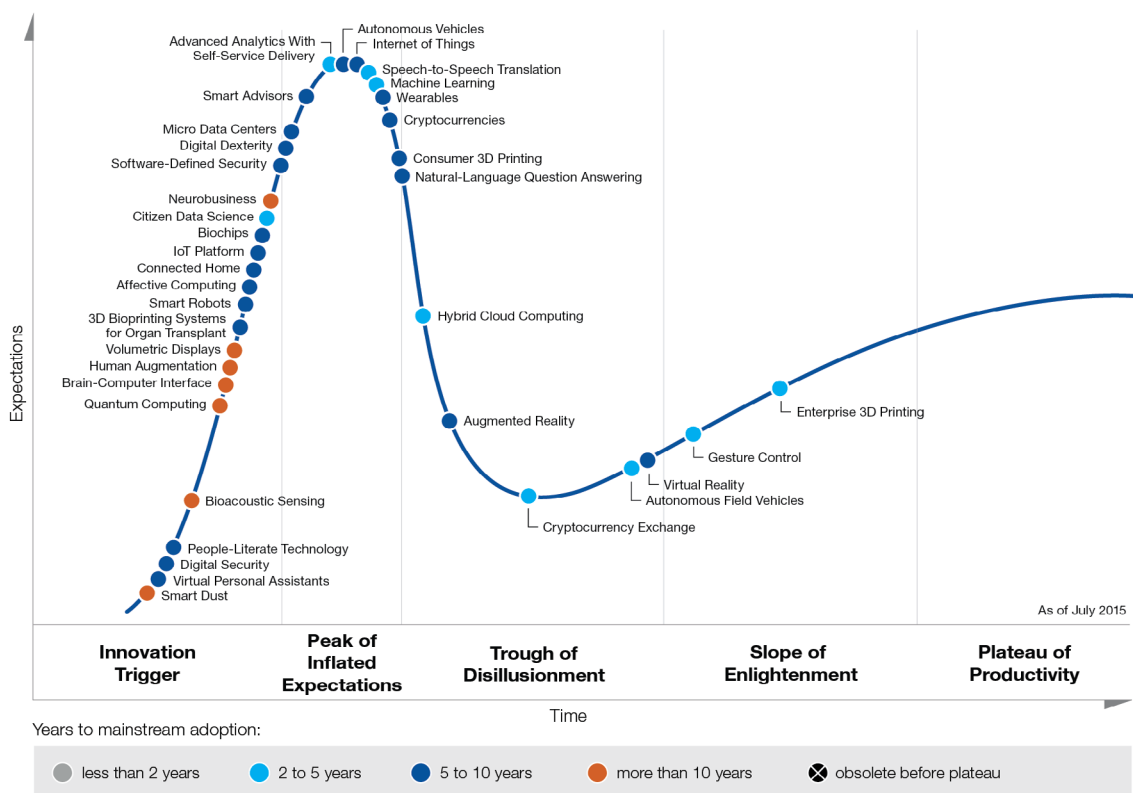
TECNOLOGIE EMERGENTI, IERI E OGGI

È innegabile che accanto ad un crescente entusiasmo ci sia ancora uno scetticismo diffuso attorno al tema delle stampanti 3D. Sembrerà strano, ma ancora la gente è poco informata e anche quando volesse documentarsi, verrebbe sommersa da una quantità eccessiva di input. Al di là di ogni congettura, più o meno soggettiva sull'argomento, la verità è che qualcosa è cambiando; è cambiando nella testa delle persone ma soprattutto nei fatti.

La **Gartner**, multinazionale che opera nel campo dell'Information Technology attraverso ricerche e analisi di mercato, ogni anno elabora una curva, la *Emerging Technology Hype Cycle*, che fornisce una rappresentazione grafica della maturità e del tasso di adozione di alcune tecnologie, e di come queste possano rivelarsi potenzialmente rilevanti per risolvere problemi di business reali e sfruttare nuove opportunità. Confrontando quella del 2015 con la più recente (luglio 2017), si notano dei cambiamenti sostanziali.

Nella prima ci sono ben due riferimenti alla Stampa 3D. A livello Consumer, gli utenti comuni, la produzione additiva era ancora in quel tratto di curva, denominato *Peak of Inflated Expectations*, in cui c'è il massimo picco di aspettativa ma manca poco per passare allo stadio successivo, denominato *Trough of Disillusionment* (la depressione della disillusione) in cui l'esplosione iniziale è solo un ricordo. In ambito Enterprise invece, le imprese che avevano investito erano arrivate a prodotti di 2^a e 3^a generazione, segno che la tecnologia iniziava ormai a diffondersi ampiamente.

Tutto ciò è stravolto nella curva del 2017, dove non c'è traccia della Stampa 3D, in nessuno degli ambiti sopra descritti. Questo dimostra come il mondo l'abbia già metabolizzata, tant'è che nella curva si guarda avanti, alla Stampa 4D, che verrà accennata alla fine del capitolo. Discorso a parte va fatto in ambito architettonico, nicchia a se state, fatto di tante idee ma ancora di pochi fatti concreti.



FATTI

APPLICAZIONI CHE STANNO CAMBIANDO (IN MEGLIO) IL MONDO

La stampa 3D ha delle potenzialità enormi e se in Italia l'utilizzo più diffuso è nella produzione di prototipi, vi sono molti settori in cui la ricerca e l'applicazione sta portando a risultati sempre più rapidi e sorprendenti. Tra queste:

- **Applicazioni mediche e sanitarie**
- **Applicazioni aerospaziali**
- **Applicazioni automobilistiche**
- **Applicazioni alimentari**
- **Applicazioni nel design, nella moda, nell'arte, nella gioielleria e nei giocattoli**

ma soprattutto ciò che ci riguarda più da vicino

- **Applicazioni in architettura e nelle costruzioni edili**

alle quali verrà dedicata una sezione apposita alla fine di questo breve digressione sulle altre.

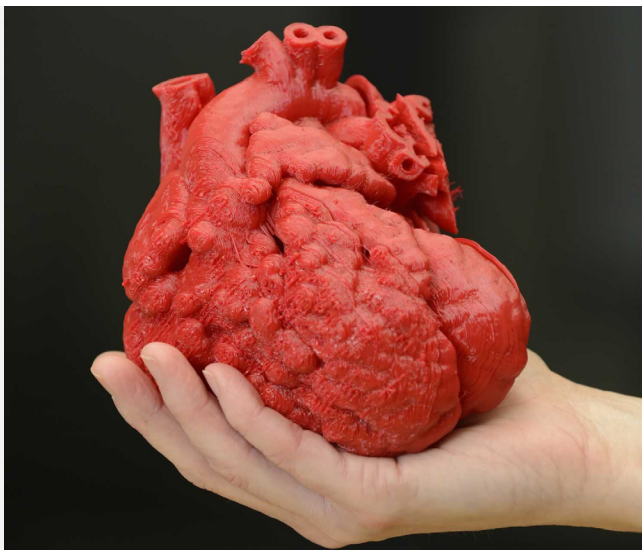
APPLICAZIONI MEDICHE E SANITARIE

Uno dei settori in cui la tecnologia 3D Printing sta avendo

maggiore successo è quello medico. La varietà di metodologie di stampa permette un'ampia gamma di applicazioni che va dall'uso di modelli anatomici per lo studio e la pianificazione di interventi chirurgici alla produzione di protesi anatomiche personalizzate con materiali biocompatibili. I ricercatori della Princeton University ad esempio, hanno sviluppato un orecchio bionico. È inoltre possibile stampare protesi ortopediche studiate appositamente per i pazienti ed importanti progressi sono stati fatti nel campo della stampa di tessuti organici che potrebbero portare a utilizzi nel campo dei trapianti di tessuti ed organi.

Nel 2003 la società statunitense **Orgonovo** ha sviluppato il tessuto *exVive 3D Liver*, che replica la struttura biomolecolare del tessuto del fegato dando la possibilità di svolgere test in vitro molto più attendibili che in precedenza. (← *exVive 3D Liver*, Tissue Performance, su www.orgonovo.com)

Emozionante è invece la storia di un bambino di 14 mesi che a Louisville, nel Kentucky, è stato sottoposto ad un intervento per una grave malformazione congenita al cuore che metteva a rischio la sua sopravvivenza. A causa della complessità dell'operazione e delle dimensioni troppo piccole del cuore, il chirurgo Erle Austin si è rivolto agli ingegneri dell'Università di Louisville, i quali hanno sviluppato un software in grado di tradurre le immagini della



www.louisville.edu [6]



www.umcutrecht.nl [7]

TAC e degli altri esami in istruzioni per la stampante 3D. In sole 20 ore e con 600 dollari di materiali (particolari plastiche flessibili chiamate Ninja Flex) assemblati in strati, è stato realizzato il modello del cuore del piccolo, strutture e i difetti compresi, ma in una dimensione doppia rispetto all'originale! Questo modello ha aiutato il cardiocirurgo pediatrico ad effettuare l'intervento con una procedura alternativa che non gli sarebbe mai venuta in mente, riducendo tagli e suture necessarie e accorciando in maniera significativa la durata dell'intervento. (← COLASANTO, Cosimo. Il cuore stampato in 3D salva un bambino di 14 mesi. Il Sole 24 Ore, 26 febbraio 2014)

Un altro intervento riguarda una ragazza di 22 anni affetta da una grave forma di emicrania dovuta ad un ispessimento della struttura scheletrica del cranio. In questo caso l'intervento era inevitabile, ma fino ad ora non vi era alcun trattamento efficace per questi pazienti. In passato gli impianti venivano fatti per lo più a mano in sala operatoria, utilizzando una sorta di cemento, ma non si poteva contare su protesi molto precise. I medici di Utrecht hanno pensato bene di usare una stampante 3D per costruire una protesi del cranio (in un materiale termoplastico chiamato Pekk) che sostituisce l'osso originario e fosse modellata della dimensione esatta con conseguenti vantaggi estetici, ma anche funzionali, poiché in genere il cervello recupera meglio rispetto ai trapianti basati sui vecchi metodi.

(← BONFRANCESCHI, Anna Lisa. Trapianto di cranio stampato in 3D. Articolo su www.wired.it, 31 marzo 2014)

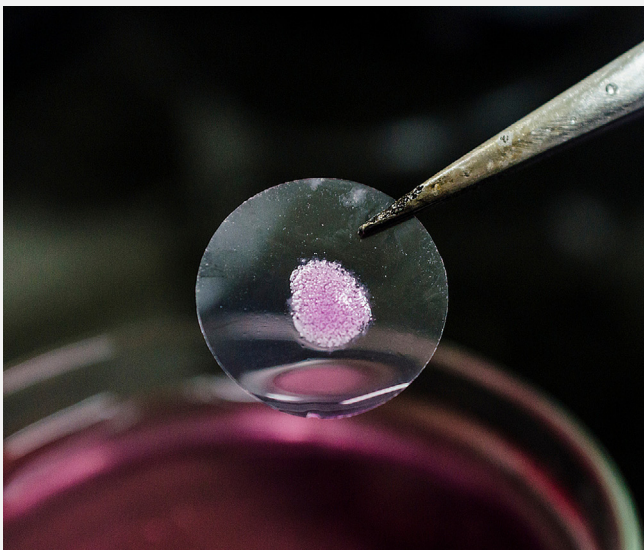
In ambito farmaceutico, è datata ottobre 2015 la pubblicazione dei risultati di una ricerca intitolata *Effect of Geometry on Drug Release From 3D Printed Tablets*, a cura di un gruppo di ricercatori della UCL School of Pharmacy, University College London insieme a FabRX. Gli studi effet-

tuati rivelano l'affascinante interdipendenza fra la forma geometrica delle pillole (ottenute con un filamento di PVA miscelato a paracetamolo ed estruso a 180°C) e le dinamiche di rilascio dei farmaci contenuti all'interno. Questo potrebbe aprire grandi prospettive in chiave di personalizzazione delle cure. (← BAI, Andrea. Stampanti 3D, una strada per i farmaci personalizzati. Articolo su www.businessmagazine.it, 12 maggio 2015)

APPLICAZIONI AEROSPAZIALI

L'industria aerospaziale sta impiegando sempre più la manifattura additiva per stampare parti complesse e con geometrie particolari, impossibili da ottenersi con i metodi tradizionali. Sugli aeroplani della Boeing sono stati già montati e volano più di ventimila componenti di alta qualità. Con questi pezzi la compagnia aerea ha ottenuto importanti risparmi, ed essendo certa di ottenerne ulteriori, sta progettando e stampando altre parti strutturali dell'aereo. Anche Airbus si sta muovendo ed esplora la possibilità di costruire una stampante su larga scala per la produzione di elementi più performanti.

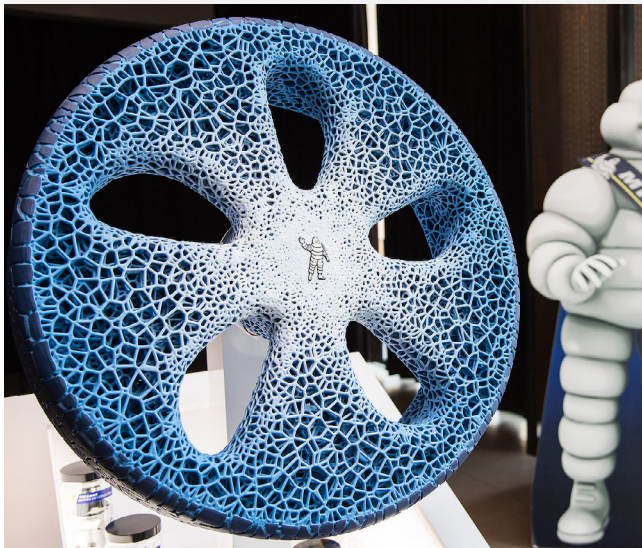
In Piemonte **Avio Aero** ha recentemente inaugurato l'impianto più grande al mondo totalmente dedicato alla produzione tramite tecniche di stampa 3D; in particolare diverse componenti per motori aeronautici sono realizzate con le tecnologie DMLS e EBM e un materiale speciale (TiAl). I vantaggi sono molteplici: design innovativi, risparmio di materiale, componenti più leggeri e a pezzo unico, minori consumi ed emissioni, migliori caratteristiche meccaniche e maggiore resistenza con la riduzione dei tempi di produzione e dei costi. (← "Additive manufacturing", su www.avioaero.com)



www.pandorumtechnologies.in [8]



www.avioaero.com [9]



APPLICAZIONI AUTOMOBILISTICHE

Nel mondo degli sport ad alto tasso di adrenalina, come le corse di Formula 1, vengono integrate parti costruite con produzioni additive. In Italia, la compagnia CRP Technology sviluppato camere di combustione, coperchi del cambio e portamozzoli in titanio per la Kepler Motors.

Sempre italiana è la start-up piacentina Musp Garages, che ha ricevuto un investimento di 50mila euro per la produzione di ricambi stampati per auto d'epoca, difficili da reperibili o fuori produzione. (↔ COSENZA, Marco. L'auto d'epoca si ripara con la stampa 3D. Articolo su www.wired.it, 1 maggio 2015)

Anche il design team di **Ford Motor Company**, che ha da poco aperto un nuovo laboratorio di produzione additiva a Dearborn, ha progressivamente affiancato al lavoro con l'argilla dei suoi scultori, la prototipazione rapida ottenuta grazie alle stampanti 3D, velocizzando la produzione di prototipi e componenti; più modelli in meno tempo. (↔ Mearian, Lucas. Inside Ford's 3D Printing Lab, where thousands of parts are made. Articolo su www.computerworld.com, 4 giugno 2014)

Secondo **Michelin** invece, la ruota del futuro sarà senza camera d'aria. *Vision* è il prototipo di un pneumatico composto unicamente da un materiale composito di gomma naturale e materiali di scarto (legno, plastica e alluminio), che viene stampato con struttura a nido d'ape. È connesso, per avere informazioni costanti sul suo stato e può essere riparato qualora fosse usurato. (↔ www.michelin.com)

APPLICAZIONI ALIMENTARI

Nel 2012 è stata commercializzata la prima stampante 3D che estrude il cioccolato dando vita a qualsiasi forma.

Barilla produrrà invece Rosa, formato di pasta ideato dal vincitore del contest Print It Loris Tupin, indetto in collaborazione con Thingarage con l'obiettivo di trovare design alternativi da stampare in 3D. (↔ GHIDOTTI, Cristiano. Stampanti 3D: barilla e la pasta del futuro. Articoso su www.webnews.it, 14 gennaio 2015)

APPLICAZIONI NEL DESIGN

Totalmente rivoluzionato dall'avvento della digital fabrication, ha saputo cambiare completamente i suoi approcci metodologici e culturali riuscendo ad ottenere importanti cambiamenti di tempi e costi nei processi di fabbricazione. Un esempio fra questi può essere il lavoro di **Alexander Pelikan** intitolato *A Machine's Perception*.

Il design però non ha solo una connotazione estetica e le possibilità di personalizzazione che ci offre la stampa 3d può essere un importante contributo alla risoluzione di problemi molto pratici. Questo è il caso dello studio londinese **LAYER**, guidato da Benjamin Hubert, che si è concentrato sulla progettazione di *GO*, una sedia a rotelle in cui il sedile e il poggia piedi sono adattati con precisione alla forma del corpo e al peso, grazie alla mappatura biometrica di ciascun individuo. (↔ www.urbanalps.com)

In ambito sicurezza, l'azienda svizzera **UrbanAlps** ha studiato il modo per rendere più sicuro un accessorio tanto piccolo quanto importante: la chiave. Grazie ad una particolare forma chiusa, stampata in titanio, questa è più difficile da scansionare per la copia, perché i denti sono posti all'interno e quindi difficilmente visibili e raggiungibili.

(↔ www.urbanalps.com)



APPLICAZIONI NELL'ARTE

Per realizzare le distorte scenografie dell'opera di Daniel Auber "Fra Diavolo", il Teatro dell'Opera di Roma si è affidato all'azienda italiana WASP, la quale è riuscita a stampare i 1500kg dell'allestimento, sopperendo al costo eccessivo della classica plastica (in rapporto alle dimensioni da fabbricare), grazie all'utilizzo di un materiale stampabile ricavato dal mais, naturale e facilmente riciclabile.

APPLICAZIONI NEL SETTORE DELLA GIOIELLERIA

In ogni sito internet specializzato in servizi di stampa 3D non può mancare la sezione dedicata a Jewellery and Fashion. All'interno si trovano creazioni come quelle in acciaio inossidabile di Doug Bucci (← www.dougbucci.com), che ripropongono le strutture molecolari delle cellule. La stessa 3D Systems ha una sezione nel suo portale dedicata alla vendita di creazioni di giovani designer.

APPLICAZIONI NELLA MODA

Sulle passerelle di tutto il mondo hanno già sfilato abiti prodotti con stampanti 3D, suscitando scalpore e ammirazione, come la collezione di oggetti creata dalla stilista sudafricana **Michaella Janse van Vuuren** in diversi colori e materiali. Per la van Vuuren «*la possibilità di combinare materiali rigidi e flessibili in un unico pezzo, assieme all'introduzione del colore, ci permette di pensare in un modo completamente nuovo*». Un esempio della produzione di questa

stilista è il corsetto *Stained Glass* il cui intento è quello di emulare l'effetto di una vetrata di una chiesa medievale. (← South African Designer Finds Paradise in Stratasy Color, Multi-material 3D Printing. Articolo su www.blog.stratasy.com, 14 marzo 2014)

Anche Nike, Adidas e New Balance con Vapor Laser Talon, Futurecraft ed una scarpa da corsa di polvere elastomerica estrusa in SLS, hanno dedicato tempo alla sperimentazione, mirando a garantire flessibilità, longevità, resistenza e leggerezza. **Adidas** ha da poco commercializzato, in edizione limitata, una versione aggiornata delle *Futurecraft*, con una suola a struttura detta "web-like" (simile ad una ragnatela), caratterizzata da aree a densità variabili in base alle forze agenti. Questo passo apre la strada alla realizzazione di scarpe su misura, adattate alle differenti esigenze di ammortizzazione del piede di ogni singolo atleta. (← AQUINI, Franco. New Balance stampa in 3D la scarpa da corsa perfetta - www.dday.it) (← www.materialise.com)

Luxottica e Marcolin, due importanti marchi italiani per la produzione di occhiali, stanno innovando il proprio brand tramite l'utilizzo del 3d printing. La prima in particolare applica questa tecnologia per velocizzare il processo di sviluppo di prodotti e le fasi di prototipazione. L'occhiale diventa un unico pezzo senza necessità di assemblaggio.

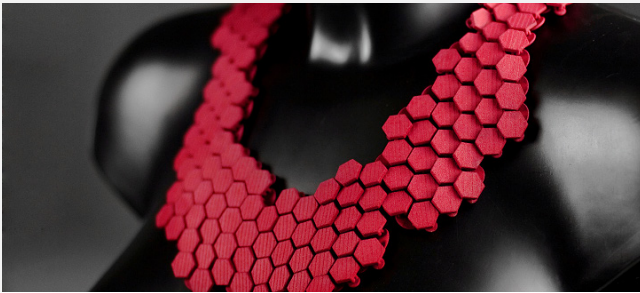
(← IONTA, Federica. Su misura ma non unici: perché gli occhiali sono il prodotto ideale per la stampa3D. Articolo su www.wired.it, 11 aprile 2015)

Kinematics dress è invece un abito realizzato a partire dalla scansione del corpo umano. Lo studio **Nervous System** ha elaborato un sistema per ottenere una vestibilità su misura, interconnettendo mediante cerniere degli elementi triangolari unici in nylon, stampati tutti insieme. A differenza dei tessuti tradizionali, questo non è uniforme poiché può variare in rigidità, flessibilità, porosità e tipologia di pattern. (← www.n-e-r-v-o-u-s.com)

www.adidas.it [14]



www.cubify.com [15]



www.n-e-r-v-o-u-s.com [16]

Architettura e Costruzioni

È possibile controllare le forme dell'architettura? È possibile realizzare, facendo particolare riferimento ai pannelli di facciata, moduli di qualsiasi dimensione e forma, ognuno di diversa curvatura? La costruzione è già un processo "additivo" (escludendo la prefabbricazione), infatti sia che si tratti della posa dei mattoni, che della colata di calcestruzzo, l'edilizia forma le costruzioni in strati dal basso verso l'alto; ma nonostante questo le possibilità di produzione additiva sono ancora in fase emergente.

Si pensa che l'idea di usare la manifattura additiva su larga scala sia nata solo in questi ultimi anni, invece già a metà degli anni '90 Joseph Pegna aveva intravisto la possibilità di costruire interi fabbricati estrudendo strati successivi di calcestruzzo e sabbia. (← PEGNA, Joseph. *Application of Cementitious Bulk Materials to Site Processed Freeform Construction*,1995)

Il problema principale era quello di portare ad un livello di automazione più alto un settore che è sempre stato trascurato, anche in relazione alle difficoltà di reperire fondi per la ricerca. Introducendo l'approccio alla manifattura additiva automatica nel processo delle costruzioni si sono evidenziati una serie di benefici:

- Riduzione di manodopera
- Riduzione del tempo di costruzione
- Accessibilità in ambienti aggressivi
- Unicità dei pezzi
- Unico materiale
- Libertà architettonica

RIDUZIONE DI MANODOPERA

Automatizzare il processo di costruzione non porterebbe solo un vantaggio in termini economici, ma gioverebbe anche alla sicurezza dei lavoratori. Automatizzare il processo ridurrebbe notevolmente i rischi mediante un processo costruttivo più prevedibile e controllabile.

RIDUZIONE DEL TEMPO DI COSTRUZIONE

Il lavoro in cantiere ha spesso tempi imprevedibili per varie criticità interne e non, ad esempio le condizioni atmosferiche. L'automazione potrebbe portare a un più alto livello di organizzazione e alla diminuzione dei tempi di costruzione.

ACCESSIBILITÀ IN AMBIENTI AGGRESSIVI

I processi di costruzione spesso coinvolgono ambienti che sono potenzialmente pericolosi per la vita umana o difficili da raggiungere. L'evoluzione delle tecnologie ha portato, soprattutto in questi ultimi anni, all'aumento di possibili luoghi in cui costruire; un esempio è la colonizzazione dello spazio con la possibilità di costruire sulla Luna e forse anche su Marte (gli studi condotti da Foster+Partners insieme all'Ingegnere Enrico Dini ne sono un esempio). Poiché l'invio di esseri umani non sarebbe economico e la mole di lavoro sarebbe insostenibile in condizioni estreme, l'automazione sembra l'unica valida opzione. Ciò però vale anche sulla terra, dove ci possono essere condizioni estreme come: atmosfere tossiche, perdite radioattive, caldo o freddo estremi che possono giovare dell'automazione.

UNICITÀ DEI PEZZI

Muri, pavimenti, pannelli e tramezzi sono spesso realizzati in dimensioni prestabilite. Nel caso di componenti modulari standardizzati, questi devono essere comunque tagliati per raggiungere le dimensioni volute e, anche quando si tratta di materiale gettato, occorre un sistema di cassa-

tura adeguato. Tutto ciò presuppone costi dei quali non si può fare a meno e al giorno d'oggi, per minimizzarli, le costruzioni finiscono per essere troppo uguali fra loro. Con la stampa 3D si possono ridurre questi costi e ogni costruzione può finalmente respirare un po' di libertà progettuale.

UNICO MATERIALE

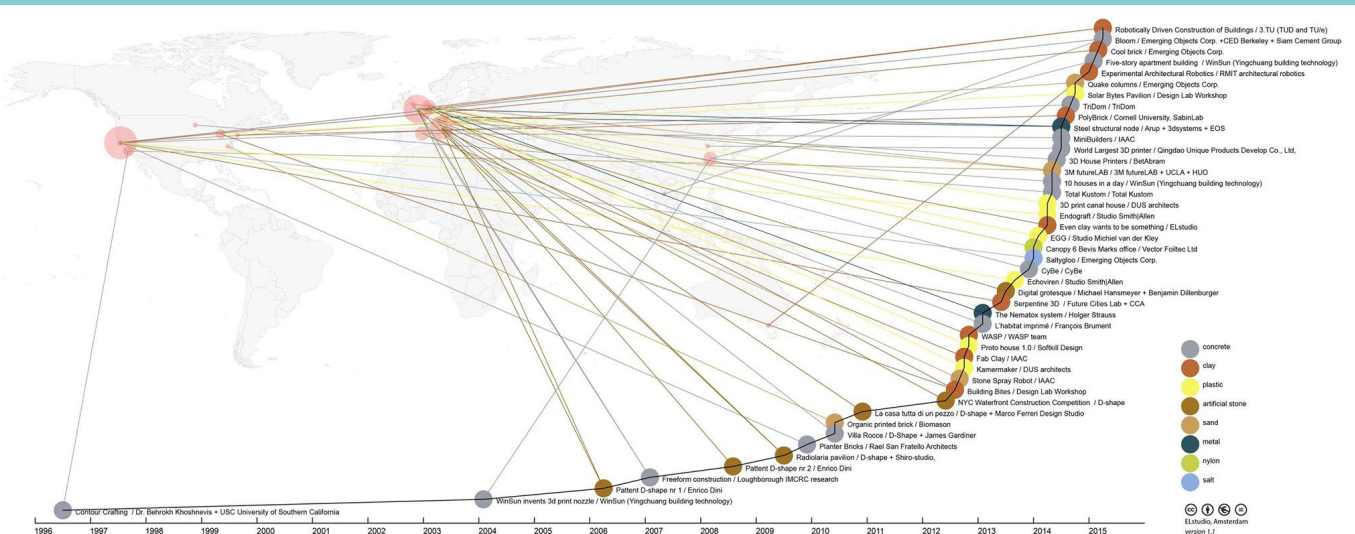
In edilizia si assemblano elementi con differenti funzioni per dare vita ad un luogo in cui abitare, lavorare o passare il tempo libero. La complessità di queste connessioni può spesso portare a problemi peculiari e spesso anche a un numero elevato di parti difettose. In corrispondenza di parti che si sovrappongono o nei giunti, dove materiali diversi in contatto fra loro, questi possono evidenziare la loro diversità (come l'espansione termica o la conduttività). Con la costruzione di parti complesse a materiale singolo o creazione di un unico materiale intelligente per soddisfare le prestazioni richieste, questo problema viene ridotto al minimo e la presenza di nodi sovrapposti svanisce completamente. Anche nel caso di una demolizione, un solo materiale è più facile da gestire e smantellare, rendendo il processo più ecosostenibile per l'ambiente.

LIBERTÀ ARCHITETTONICA

Gli sviluppi della progettazione assistita dal computer (CAD) verificatisi negli ultimi due decenni, hanno portato architetti e ingegneri a nuove creatività e complessità architettoniche. Le possibilità che l'informatica offre ai team di progettazione, fanno sì che possa esistere una stretta relazione fra software e progettista. La macchina partecipa alla ricerca della forma più idonea e tramite una stampante 3D riesce ora a controllarla e a realizzarla.

Nella pratica è tutto più complesso e ci sono dei limiti attualmente invalicabili ed in questa tesi ci siamo spesso scontrati contro queste problematiche. Una fra queste l'impossibilità, al momento, di costruire su più piani fuori terra.

VENT'ANNI DI STAMPA 3D IN ARCHITETTURA [17] ← www.elstudio.nl



IN AVANTI

DAL 3.0 AL 4.0 IN ITALIA

↳ www.istruzione.it
↳ www.mise.gov.it
↳ www.sviluppoeconomico.gov.it
↳ www.internet4things.it

Il mondo in cui ci siamo addentrati in queste pagine, quello dei Makers, cresce ogni giorno ad una velocità sempre maggiore, allargando costantemente i suoi orizzonti e riducendo il tempo fra quello che si potrebbe fare in futuro e quello che si sta facendo adesso. In uno scenario così stimolante ma allo stesso tempo così variegato e complesso, è chiaro che ci sia bisogno di una ristrutturazione generale di tutto il sistema delle imprese, non solo in termini di “oggetti” ma, soprattutto, in termini di “soggetti”. È altrettanto urgente il bisogno che questa ristrutturazione diventi politica economica ed è proprio lo Stato a dover ricoprire il ruolo di regista di questa impresa.

Rispetto a paesi come la Germania, che ha già da tempo sviluppato ed implementato un piano industriale nazionale, l'Italia è in ritardo. Fortunatamente qualcosa di sta muovendo e da settembre 2016 è realtà il Piano *Industria 4.0* (ribattezzato quest'anno *Impresa 4.0*), annunciato dal ministro dello Sviluppo economico Carlo Calenda per lo sviluppo di imprese ad alto contenuto tecnologico. Il Piano ha 3 assi principali per guidare l'industria verso l'adozione di una cultura digitale:

- Sostegno economico
- Formazione
- Valorizzazione delle eccellenze

Tutto questo attraverso, ad esempio, un superammortamento per investimenti in beni strumentali e rinnovo impianti destinati a realizzare progetti tecnologicamente innovativi, con aumento dell'aliquota dal 140% al 250% (in pratica se una stampante 3D costa €10000, il valore ammortizzabile sarà €25000); un credito d'imposta alla ricerca che passa dal 25% al 50% per la spesa interna, con un credito massimo per contribuente di 20 milioni di euro e detrazioni fiscali fino al 30% per le Start up.

Oltre a questo è estremamente essenziale educare ed insegnare la nuova cultura digitale ad ogni livello e in ogni ambito, dalle organizzazioni al management, arrivando soprattutto nelle scuole con lo stanziamento di 355 milioni di euro, grazie ai quali verrà sostenuta l'implementazione del *Piano Nazionale Scuola digitale* (PNSD), pilastro fondamentale de *La Buona Scuola* (legge 107/2015) e documento di indirizzo del Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca per il lancio di una strategia complessiva di innovazione della scuola italiana. Strategia che ha sempre lo stesso obiettivo di preparare gli studenti alla società che li attende, concentrandosi sul loro apprendimento e sviluppo ma mutandone i linguaggi, per adattarli al mondo mutevole col quale si è aperto questo paragrafo, che sempre con più urgenza richiede agilità mentale, competenze trasversali e giovani in grado, ancora, di sognare.

4D PRINTING

SCENARI FUTURI DAL MONDO

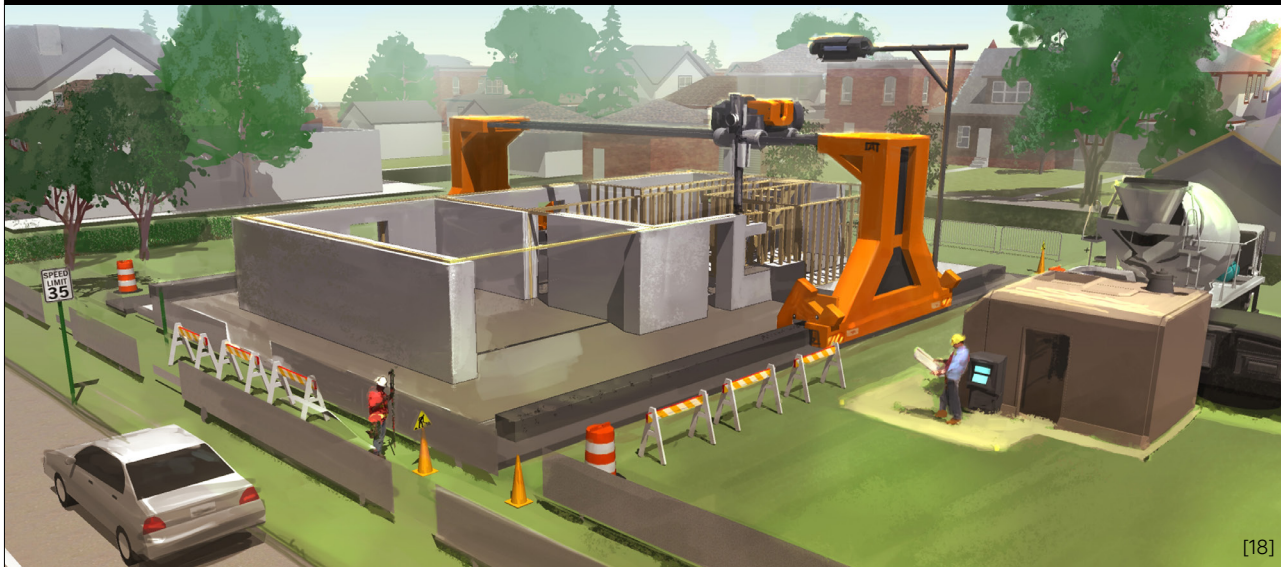
Se tre dimensioni non bastassero più, il Self-Assembly Lab del Massachusetts Institute of Technology (MIT), sta sperimentando introduzione del tempo come variabile di stampa. Insieme a Stratasy hanno sviluppato un materiale in grado di cambiare forma a contatto con l'acqua e grazie al software *Project Cyborg*, sviluppato da Autodesk, i ricercatori sono riusciti a simulare in digitale questi processi di trasformazione. Questi esperimenti aprono la strada allo

sviluppo di materiali e quindi di oggetti stampati intelligenti e programmabili, in grado di cambiare forma (così da superare il limite attuale del volume di stampa limitato dalla grandezza della stampante), proprietà e in generale di compiere azioni, come quella di autoassemblarsi. Il tutto indotto dai più svariati stimoli esterni, quali calore, vibrazioni, gravità, magnetismo ed elettricità.

↳ Skylar Tibbits, *The emergence of "4D printing"* - www.ted.com/talks

**SCHEDE
DEI PERSONAGGI**

IMMAGINE



CHI

Dr. Behrokn Khoshnevis + USC University

DOVE

Los Angeles, CA, Stati Uniti

QUANDO

1996

SITO WEB

www.contourcrafting.org

TECNOLOGIA DI STAMPA

FDM

CARATTERISTICHE DELLA MACCHINA

Sistema a portale costituito da 2 braccia verticali (mobili su binari paralleli, costruiti sul posto) simili a gru e da una trave orizzontale che trasporta le testine di stampa.

FUNZIONAMENTO

Estrusione dei bordi dell'elemento tramite deposizione di materiale strato su strato e successivo riempimento della parte interna per iniezione o colata di cemento.

MATERIALI

Polimeri, impasto ceramico, cemento, tutti i materiali in forma pastosa.

VANTAGGI

Flessibilità di progettazione, forme complesse, utilizzo di materiali multipli, possibilità di realizzare condotti funzionali all'interno del muro stampato (niente più forature addizionali), le superfici sono già pronte per essere pitturate, reti di rinforzo in acciaio integrate negli strati, automatismi aggiuntivi (tipo piastrellatura automatica con bracci robotici), integrazione di impianti.

SVANTAGGI

Stretta dipendenza dalla forza gravitazionale, 2,5 libertà dimensionali.

IMMAGINI



CHI

Yingchuang Building Technique Co.

DOVE

Shanghai, Cina

QUANDO

2003

SITO WEB

www.winsun3d.com

TECNOLOGIA DI STAMPA

FDM

CARATTERISTICHE DELLA MACCHINA

Carroponte con singolo ugello, largo 10 metri, lungo 40 metri e alto 7 metri.

FUNZIONAMENTO

Estrusione dei bordi dell'elemento tramite deposizione di materiale strato su strato e successivo riempimento della parte interna per iniezione o colata di cemento.

MATERIALI

Cemento ad asciugatura rapida, fibre di vetro e sabbia. La materia prima è costituita da scarti di materiale da costruzione e rifiuti industriali miscelati con il cemento.

VANTAGGI

Materiali rispettosi dell'ambiente, nessuna produzione di rifiuti, scarti riutilizzabili per altre costruzioni.

VANTAGGI

Scarsa flessibilità architettonica, stampante utilizzata solo per alcuni elementi del "sistema casa".

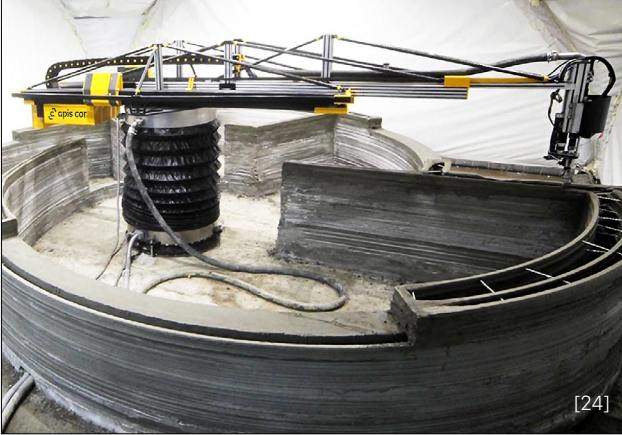
APPLICAZIONI

10 uffici da 200m², a Shanghai: progetto realizzato con 4 stampanti 3D in 24 ore. Il costo di ogni edificio si aggira intorno ai 20-30.000 Yuan (2.500-3.000 Euro); *Palazzo residenziale* alto 5 piani; *Luxury Cottage* di 1100m² con decorazioni interne ed esterne; *Dubai Government Office*, stampato in 17 giorni ed installato in 48 ore.

IMMAGINI



[23]



[24]

DOVE

Mosca, Russia

SITO

www.apis-cor.com

TECNOLOGIA DI STAMPA

FDM

CARATTERISTICHE DELLA MACCHINA

Stampante trasportabile a gru con braccio estensibile fino a 8,5 m, testa rotante e area stampabile fino a 132m². Supporta l'estrusione di 3 piani fuori terra al massimo e per il montaggio e la messa in opera occorrono soltanto 30 minuti e 2 operai per il controllo.

APPLICAZIONI

Abitazione di 38m², realizzata il 24 ore e dal costo di 10000 dollari (interni compresi).

IMMAGINI



[25]



[26]

DOVE

Oss, Paesi Bassi

SITO

www.cybe.eu

TECNOLOGIA DI STAMPA

FDM

CARATTERISTICHE DELLA MACCHINA

Stampante mobile cingolata a braccio meccanico, capace di stampare fino a 600 mm/s, abbinata all'utilizzo di una malta cementizia stampabile ad alte prestazioni e a rapida asciugatura, che raggiunge la resistenza strutturale in circa 1 ora.

APPLICAZIONI

R&DRONE Laboratory (2017), padiglione per la Dubai Electricity and Water Authority, 168m², 27 parti e stampato in 46h in mezzo al deserto.

IMMAGINI



CHI

Hans Vermeulen, Martine de Wit, Hedwig Heinsman

DOVE

Amsterdam, Olanda

QUANDO

2013

SITO WEB

www.dusarchitects.com
www.3dprintcanalhouse.com

TECNOLOGIA DI STAMPA

FDM

CARATTERISTICHE DELLA MACCHINA

“Kamer Maker” (costruttore di camere) è una grande stampante 3D di dimensioni 15x10x6m con un volume di stampa di 2,2x2,2x3,5m. La versione 2.0 è totalmente automatizzata, due volte più veloce e consuma meno.

FUNZIONAMENTO

Realizzazione di blocchi che andranno successivamente assemblati in situ come mattoncini lego.

MATERIALI

Bioplastica Macromelt prodotta dall'azienda Henkel: è composta dal 75% di olio vegetale e viene additivata con microfibre e rinforzi di tipo organico (bucce di banane) e di riciclo (bottigliette di plastica).

VANTAGGI

Eliminare gli sprechi; riduzione dei costi di trasporto; possibilità di facili modifiche alla struttura per riassetto dei blocchi.

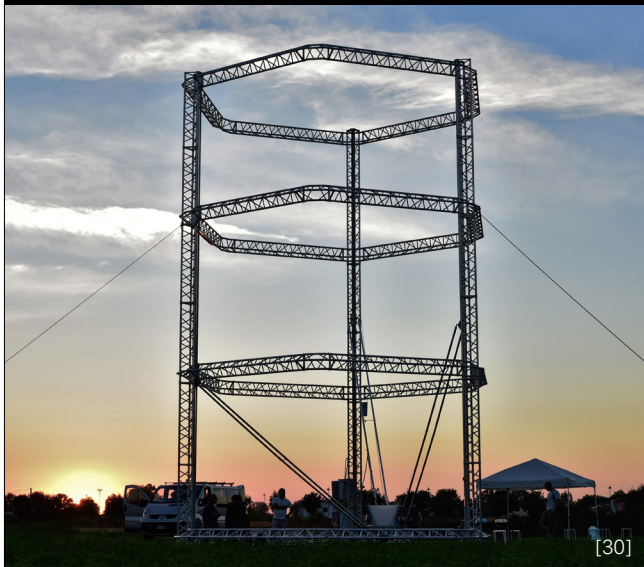
SVANTAGGI

Struttura dipendente dal calcestruzzo per la realizzazione delle fondazioni, effetto dentifricio (superfici irregolari).

APPLICAZIONI

Canal Huse, abitazione in stile olandese situata lungo il Buiksloterkanaal (un canale di Amsterdam); *Urban Cabin* (2016), mini-casa di 8m² pensata come rifugio in ambienti urbani ma anche per zone colpite da disastri; *Europe Building* (2017), facciata dell'edificio temporaneo per le riunioni dell'European Union Council Presidency.

IMMAGINI



CHI

Massimo Moretti

DOVE

Massa Lombarda (Ra), Emilia Romagna, Italia

QUANDO

2012

SITO WEB

www.wasproject.it

TECNOLOGIA DI STAMPA

FDM

CARATTERISTICHE DELLA MACCHINA

Big Delta (da 4 a 12 metri di altezza). Struttura a telaio reticolare a base poligonale, composta da 3 assi verticali ai quali sono agganciati 3 bracci che consentono all'ugello, estrusore del materiale, di muoversi nello spazio.

FUNZIONAMENTO

Stampante montata in loco, materiale di stampa reperito sul posto e classico stampaggio layer-by-layer di architetture autoportanti per forma.

MATERIALI

Ceramica, cemento, argilla + fibre di canapa e tutti i materiali fluido-densi.

VANTAGGI

Stampa a Km0 e abbassamento dei costi.

SVANTAGGI

Poca precisione di stampa; "effetto dentifricio" (superfici irregolari); costante manutenzione della macchina.

APPLICAZIONI

Progetti umanitari per la costruzione di abitazioni destinate alle popolazioni dell'Africa;
Maker Economy Starter Kit, container contenente il necessario per l'autoproduzione di case.

IMMAGINI



CHI

Ing. Enrico Dini

DOVE

Bientina (Pi), Toscana, Italia

QUANDO

2006

SITO WEB

www.d-shape.com

TECNOLOGIA DI STAMPA

Binder Jetting (famiglia SLS)

CARATTERISTICHE DELLA MACCHINA

Struttura in alluminio fino a 12m di altezza, composta da un piano rigido di 6x6m che si solleva lungo 4 colonne di 30cm di lato. Queste sorreggono un braccio orizzontale con 300 valvole che spruzzano un inchiostro che solidifica la sabbia.

FUNZIONAMENTO

Sulla superficie di uno strato di sabbia di spessore standard di 5 mm viene depositato il materiale legante, il quale solidifica solo le parti del progetto, mentre le altre fanno da supporto.

MATERIALI

Sabbia e cemento + legante inorganico (economico ed ecologico) a bassa viscosità.

VANTAGGI

Alto livello di precisione, libertà architettonica, nessuno spreco di materiale (il materiale di supporto viene riutilizzato per la stampa successiva).

SVANTAGGI

Tolleranze variabili in base ai leganti utilizzati.

APPLICAZIONI

Radiolaria (realizzata); *Casa Ferreri* (realizzata); *Barriera corallina* (realizzata); *Waterfront* di NY (progetto approvato); *Landscape House* (non realizzata); *Alloggi sulla luna* (progetto); *Ponte pedonale* di 12m a Madrid (realizzato con l'Istituto di Architettura Avanzata della Catalogna); *Defence*, per il Ministero della Difesa italiano.

IMMAGINI



CHI

Domenico Astrone e Marco Iuorio (Dip. di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura, Università Federico II di Napoli), Ferdinando Auricchio (Dip. di Ingegneria Civile e Architettura, Università di Pavia), Costantino Menna e Marcello Pellicchia (Distretto Tecnologico per l'edilizia sostenibile, Napoli).

DOVE

Napoli, Italia

QUANDO

2015

SITO WEB

www.unina.it

TECNOLOGIA DI STAMPA

FDM

CARATTERISTICHE DELLA MACCHINA

Big Delta (WASP) con area di stampa a triangolo di lato 4 metri ed estrusore con altezza massima raggiungibile di 1,5m e composto da un serbatoio, per il calcestruzzo fresco, di circa 20 litri, con vite senza fine per facilitare la miscelazione. Diametro estrusore: 25mm.

MATERIALI

Malta cementizia realizzata utilizzando un CEM 42,5R/A-LL con un rapporto a/c=0,4 e un D (diametro particelle di cemento) massimo = 2mm. Malta additivata con superfluidificante acrilico per garantire il mantenimento della viscosità, + lo 0,5% in peso di polipropilene per controllare i fenomeni di ritiro.

VANTAGGI

Possibilità di realizzare elementi strutturali a sezione variabile; meno materiale impiegato, strutture più leggere e miglior comportamento sismico; sistemi di cassetta non più necessari; facile movimentazione dei conci e quindi riduzione dei costi di trasporto e di installazione.

SVANTAGGI

Possibili meccanismi di rottura locali (es. collegamenti e giunzioni fra i conci) con conseguente diminuzione di resistenza meccanica complessiva; deformazioni globali superiori a quelle di progetto; limitata resistenza al fuoco perché le armature sono esterne.

APPLICAZIONI

Trave reticolare in cemento armato, conci stampati separatamente da assemblare successivamente per creare forme curve e complesse. Sistema di rinforzo con barre di armatura ($\varnothing 10$) collocate su entrambi i lati della trave.

IMMAGINI

[39]



DOVE

Gouda, Paesi Bassi

SITO

www.baminfra.nlwww.tue.nl

TECNOLOGIA DI STAMPA

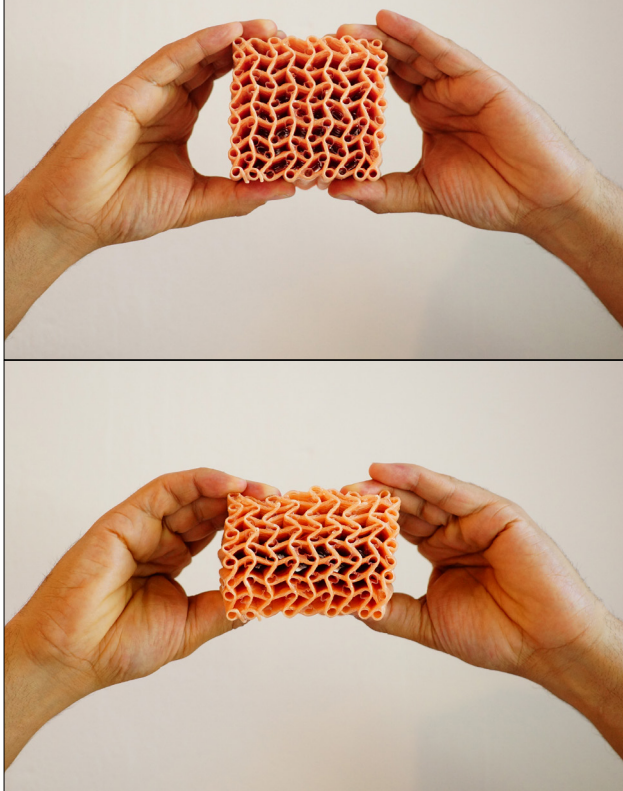
FDM

APPLICAZIONI

Ponte ciclabile (2017), progettato in collaborazione, lungo 8 metri e costituito da 6 blocchi stampati di calcestruzzo (800 strati di 1cm l'uno in tutto), precompressi con cavi in acciaio e dotati di rivestimento protettivo contro gli agenti atmosferici. La realizzazione ha richiesto circa 3 mesi e i successivi test sono stati eseguiti sotto il peso di 5 tonnellate. È stato progettato in collaborazione con la Eindhoven University of Technology che ha sviluppato un processo per incorporare i cavi di rinforzo in acciaio durante la posa della striscia di materiale.

IMMAGINI

[40]



CHI

Oluwaseyi Sosanya

DOVE

Londra, UK

SITO

www.sosafresh.com

TECNOLOGIA DI STAMPA

CNC adattata per tessere strutture, con diversa densità.

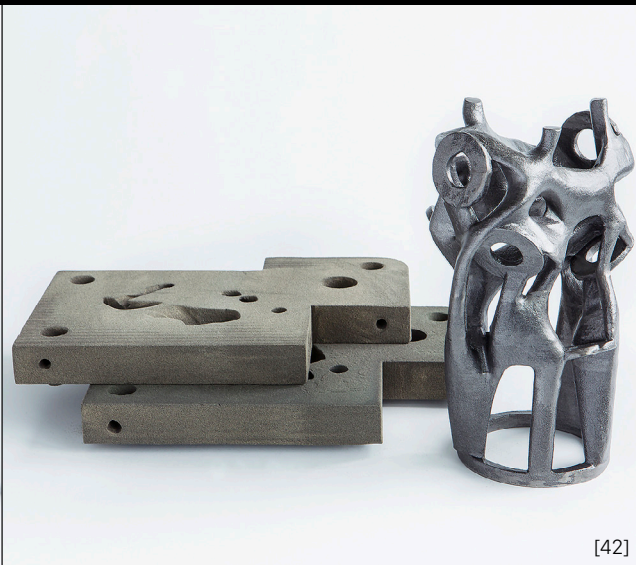
MATERIALI

Filamento di fibre naturali (cotone, lana e carta) additivato con silicone per ottenere adeguate proprietà strutturali.

APPLICAZIONI

Giunto strutturale progettato per ottimizzare i carichi agenti sugli elementi portanti (travi e pilastri) degli edifici.

IMMAGINI



CHI

Arup + CRDM/3D Systems + WithinLab + EOS + 3Dealise

DOVE

Londra, UK

QUANDO

2014

SITO WEB

www.arup.com
www.3dealise.com

TECNOLOGIA DI STAMPA

Progetto iniziale: DMLS
Aggiornamento (2017): Binder Jetting + fusione

MATERIALI

Acciaio Maraging (elevata durezza e malleabilità, buona tenacità e comportamento elastico fin quasi alla rottura).

VANTAGGI

Riduzione delle emissioni di CO₂ rispetto alle tecnologie tradizionali, peso ridotto (-75%), ottimizzazione geometrica, design sofisticato, personalizzazione, meno sprechi di materiale.

SVANTAGGI

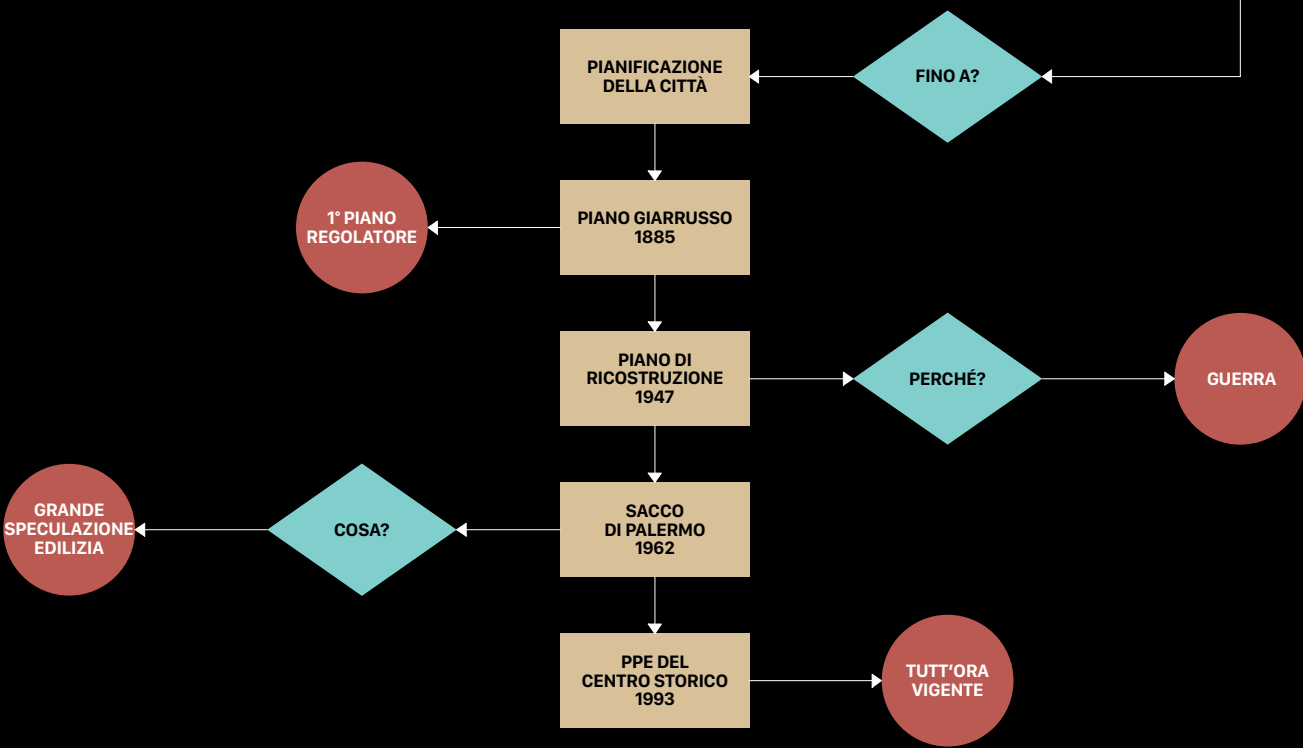
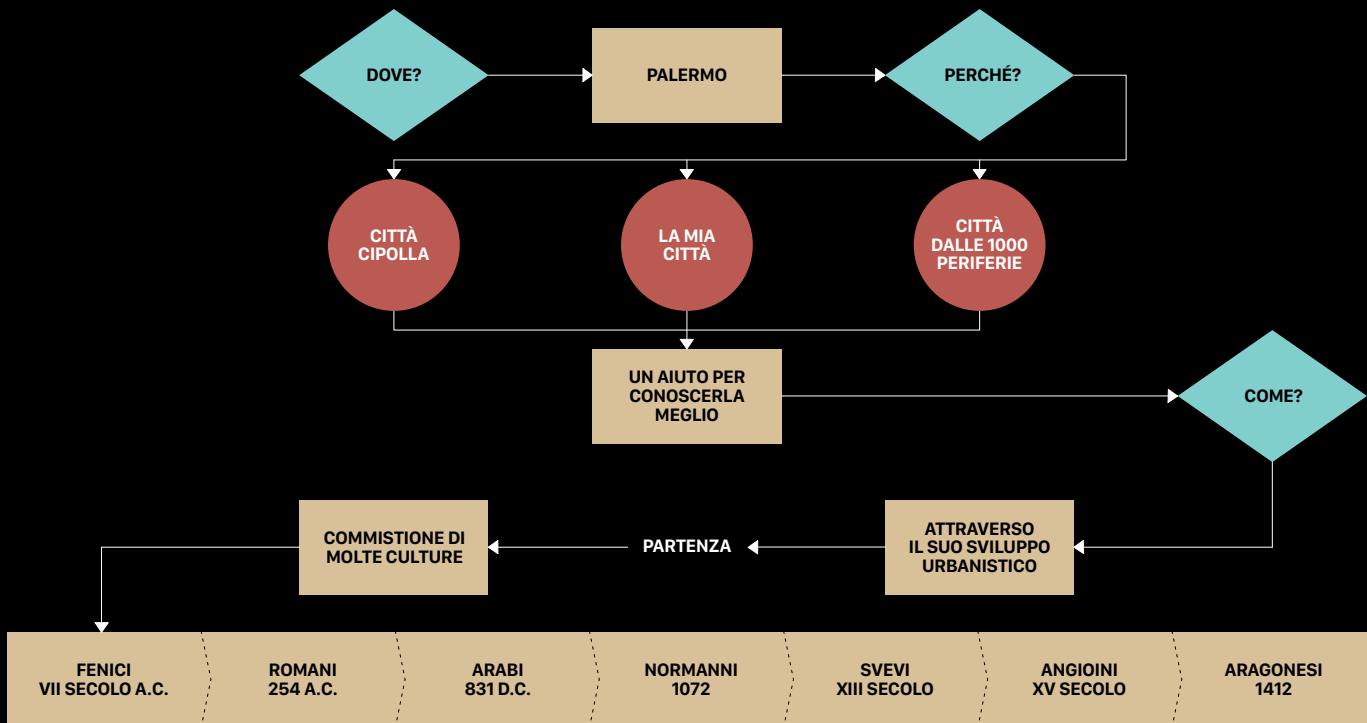
Stampa del metallo (attualmente) molto costosa e lenta.

APPLICAZIONI

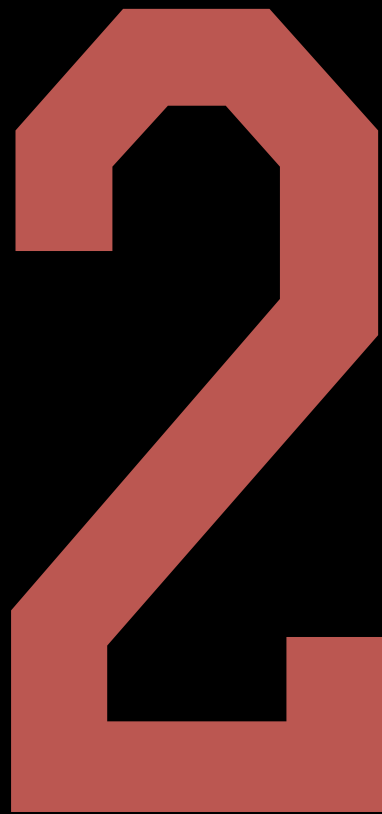
Giunto strutturale geometricamente complesso, le cui parti stampate sono esclusivamente quelle che reagiscono ai carichi della costruzione.

AGGIORNAMENTO

Grazie alla partnership con l'azienda inglese 3Dealise, la costosa stampa della polvere di metallo è stata sostituita da un processo più sostenibile. Il materiale non viene più stampato direttamente ma viene ricavato per fusione all'interno di un calco di sabbia, realizzato mediante la stampante ExOne S-Max. Questa tecnologia ibrida (che coniuga la manifattura additiva con tecniche più tradizionali) permette di abbattere i costi del 90%, rispetto alla prima versione, e di aumentare notevolmente la velocità di produzione dei nodi strutturali.



PALERMO È TANTE STORIE



Vista da qui, Palermo ha l'aria di essere una città moderna. Se ne scorgono i quartieri residenziali. Bisogna però osservarla con lo sguardo di chi la conosce e conosce le crudeltà di cui essa è capace. La verità è che da qui Palermo non si capisce. Rimane la città enigmatica che è; troppo sfocata, troppo distante.

— Roberto Alajmo

”



Palermo è la capitale della Sicilia, prima regione italiana per estensione territoriale e quarta per popolazione con oltre cinque milioni di abitanti. La Sicilia costituisce l'ultima parte del territorio nazionale, cui è legata da uno stretto di mare lungo non più di tre chilometri, oltre che l'estremo lembo dell'Europa. Per la sua estensione, e per le sue importanti tradizioni storiche e culturali, l'Isola ha sempre rappresentato un problema in qualche modo insoluto per la comunità nazionale, a partire dal momento dell'Unità (1861). Non è qui il caso di riproporre i termini della annosa e mai risolta questione meridionale, ma è forse utile ricordare che proprio la mancata soluzione di questo significativo problema nazionale costituisce ad oggi uno dei nodi vitali dell'intera questione italiana. Molti commentatori infatti, annoverano il Mezzogiorno fra le questioni fondamentali del paese.

Nei lunghi anni del dopoguerra sono state tentate tante soluzioni e avviati tanti esperimenti nessuno dei quali decisivo. È stato scritto autorevolmente che il Mezzogiorno vive oggi in una sorta di cono d'ombra perché appunto di esso non si parla più né vengono studiate, avanzate e sollecitate proposte adatte a riprendere i termini fondamentali della questione. In sostanza il Sud ha smesso di essere un problema nazionale. Ma vivere oggi al Sud e in particolare nelle grandi metropoli meridionali (Napoli, Bari, Catania, Palermo...) è diventato obiettivamente problematico per le condizioni generali di degrado di queste città, per le condizioni economiche assolutamente drammatiche, tutte cose che nel vissuto quotidiano, spostandosi dai centri storici alle periferie, vanno assumendo dei contorni sempre più complessi e irrisolvibili.

Il Mezzogiorno nel tempo è andato trasformandosi da problema rurale, qual'era all'inizio del dopoguerra, a problema urbano; da qui nasce l'esigenza per gli studiosi di tentare di comprendere, chiarire e descrivere le condizioni

di queste città ma soprattutto delle loro periferie. La periferia, si sa, rispetto al centro è sempre problematica e presenta caratteri sicuramente meno attrattivi, ma qui siamo al dramma delle periferie perché, nelle condizioni sopra brevemente descritte, le periferie meridionali appaiono non solo in gravissime condizioni di arretratezza economica, ma anche e diremmo di conseguenza, di grave disagio sociale, terreno fertile per ogni forma di malavita, soprattutto di quella or-

ganizzata, che in queste città ha posto le proprie radici e dalle quali prende le mosse per una invasione progressiva dell'intero territorio nazionale.

Palermo oggi è una città "policentrica" perché, durante l'espansione urbanistica del '900, sono stati inglobati i centri urbani preesistenti. Questi centri sono le storiche borgate o frazioni che, a seguito della cementificazione della Conca d'Oro, sono poco distinguibili dal tessuto urbano. La configurazione attuale potremmo definirla come "policentrismo lineare" in quanto si caratterizza per una forte continuità insediativa lungo l'asse costiero con il sistema in direzione orientale che va da Bagheria a Trabia e, lungo l'asse occidentale, verso Capaci - Isola delle Femmine (aeroporto). Le principali infrastrutture si snodano lungo questi assi e servono i comuni che gravitano sul capoluogo. Le trasformazioni sono avvenute nelle corone urbane più esterne e le forze centrifughe hanno influito sulla geografia degli spazi del commercio che si sono insediati in prossimità dell'autostrada e all'asse della circonvallazione. Alla luce di queste considerazioni, se escludiamo il centro storico e l'asse Libertà, Palermo appare oggi come "tutta periferia". Le logiche insediative scarsamente governate, ma influenzate dalla dimensione speculativa del mercato immobiliare, hanno determinato differenti condizioni di perifericità con situazioni di marginalità e degrado spesso rilevanti.

Per comprendere meglio le potenzialità di una città così controversa, come già visto, abbiamo non solo studiato le politiche, i piani regolatori e l'attuazione dei tanti progetti di riqualificazione messi in campo soprattutto attraverso gli strumenti dell'Unione Europea, ma abbiamo deciso di camminare per Palermo, vedere, fotografare, scoprire il tessuto non solo urbano. Abbiamo quindi fatto dei sopralluoghi sia esplorativi, sia dialogici ricercando il contatto ricorrente con le persone come strumento di approfondi-

mento, di osservazione e di riflessione sui luoghi, ricorrendo all'interazione con l'altro che ne determina una partecipazione per eccellenza.

Nel sopralluogo "dialogico" abbiamo accettato di essere guidati da chi conosce il luogo meglio di noi, in questo modo abbiamo avuto una rappresentazione più prossima al modo di concepire il luogo con interpretazioni imprevedibili e spesso svelamento di possibilità nascoste. Questi processi partecipativi ci hanno incoraggiato verso lo svol-

gimento del nostro tema che intende studiare la possibilità di realizzazione di microprogetti localizzati nei quartieri periferici per ricucire i tessuti urbani e suburbani e provare, con progetti basati sul concetto di Mixité, ad affrontare la valorizzazione di ambiti abbandonati o sottoutilizzati di questa città e delle sue periferie, facendole diventare dinamiche, dove nulla può essere pregiudizievole, ma tutto potenzialmente fruibile con un concetto di "cerniera" fra vecchio e nuovo, fra rigidità e flessibilità, fra storia e futuro.

SVILUPPO

STORICO E URBANISTICO

(Tutte le seguenti informazioni sono tratte da: De Seta, C. Palermo città d'arte, in giuina ai monumenti di Palermo, a cura di M. A. Spadaro e S. Troisi, Ariete Edizioni, Palermo, 1998)

Palermo è il capoluogo della Regione Autonoma Siciliana ed è il quinto comune italiano per la popolazione, dopo Roma, Milano, Napoli e Torino, nonché il principale centro urbano della Sicilia e dell'Italia insulare. La città è nota per la sua storia, cultura, architettura e gastronomia plurimillenaria, punto di incontro fra culture, che ha investito un ruolo importante per la storia del Mediterraneo e dell'Italia. Fondata come città-porto dai Fenici, è stata sempre un nodo commerciale e culturale fra Occidente ed Oriente, dunque il più importante nodo strategico al centro del Mediterraneo. Le varie dominazioni che si sono succedute nel corso dei secoli nella città di Palermo ne hanno modificato l'urbanistica rendendo il centro storico come luogo a sé stante rispetto la cosiddetta Palermo Nuova.

LA FONDAZIONE E IL PERIODO PUNICO-ROMANO

La città di Palermo fu fondata nel VII secolo a.C. dai Fenici, ma già nel V e VI secolo vi erano insediamenti indigeni ed ellenici a cui si deve il nome greco "Panormus" (tutto porto). Il suo destino è stato il mare attraverso il quale sono giunti uomini, idee e merci che hanno tormentato la sua storia, plasmando in infinite fusioni i suoi monumenti architettonici.

La città sorse su una piccola altura nei pressi dell'attuale Palazzo dei Normanni, posta all'interno di una ristretta penisola creata da due fiumi: Papireto e Kemonia (denominata dal secolo XVI "Conca D'Oro") che, per la natura del clima e per i suoi terreni, venne scelta dai Fenici. Questo nucleo fu chiamato Paleapolis e si distingueva da una Neapolis che si era sviluppata fra il muro orientale della vecchia città e il mare. Sia la vecchia città Paleapoli

che la nuova Neapoli vennero cinte di mura.

Il primo asse viario realizzato fu il cosiddetto "Casaro", una sorta di decumano con orientamento mare - monti, corrispondente all'attuale corso Vittorio Emanuele dal quale, ortogonalmente, si dipartono strade minori. Alle spalle della Paleapolis, nell'attuale Corso Calatafimi, vi era la necropoli risalente al VII secolo a.C. Il porto primitivo, di cui l'attuale Cala è un piccolo resto, era sicuro e inespugnabile. Palermo fu conquistata dai Romani nel 254 a.C., ma non subì nessuna espansione fino all'epoca araba e il tracciato delle mura rimase lo stesso in tutta l'età romana e bizantina.

LA PALERMO ARABO-NORMANNA

La città è rimasta sotto il dominio dell'Impero Romano d'Oriente fino alla conquista araba dell'831. Da quel momento cominciò la sua trasformazione ed espansione che la portò ad assumere il ruolo di capitale dell'isola. Il ceto dirigente arabo si era radicato a Balarm e ne aveva fatto una splendida città musulmana (Medina). E' allora che incomincia la storia dell'odierna città.

L'incremento della popolazione si tradusse nella nascita di nuovi quartieri posti al di là dei fiumi come l'Albergheria vicino il Kemonia o quello degli Schiavoni alle spalle del Papireto.

Importante è la testimonianza di Ibn Haqwal per la ricostruzione della città del tempo: la divisione del Casaro preesisteva ed anche il tessuto viario a lisca di pesce; l'antica Paleapolis diverrà l'Halqah e sul suo punto più elevato verrà costruito il primo nucleo del Palazzo dei Normanni. Questo quartiere fu sede del governatore

della Sicilia fino al 938, quando fu costruita una città della autonoma cinta di mura in prossimità della Cala: l'Halisah (l'Eletta) da cui deriva l'attuale quartiere della Kalsa. Due città murate, quindi: Balarm e Kalisah separate da giardini e corsi d'acqua fra i quali si formarono tre quartieri. La Palermo di Ibn Haqwal è lo specchio dello stato islamico con le sue circa 300 moschee, fra le quali emergeva la moschea cattedrale del Cassaro e che rappresentava un sistema imperniato sull'urbanesimo che precorre di vari secoli il fenomeno dell'urbanizzazione degli altri paesi europei.

I Normanni conquistarono la città nel 1072, così Palermo (il nuovo nome appare in un documento del 1086) ritornava a far parte del mondo cristiano e occidentale, ma due secoli e mezzo di presenza musulmana avevano radicato abitudini, costumi e utilizzazioni degli spazi che rendevano la città simile a una città orientale. I nuovi dominatori normanni spostarono il centro di potere nella parte più elevata del Cassaro. Ristrutturarono la fortezza per farne la struttura militare a difesa della città dalla parte della terra, contrapposta al castello a mare. Si iniziò a costruire la cattedrale con volumetrie sconvolgenti.

A ovest del Palazzo Reale si sviluppò un ampio parco: il Genoard, dove sorsero numerose costruzioni delle quali restano soltanto: la Zisa, la Cuba, la Cubula e lo Scibone. Alla fine dell'età Normanna la città è divisa in tre parti: quella centrale "il Cassaro", delimitata da mura di altezza smisurata e divisa da tre vie principali. La città a destra (sede del Monastero di San Giovanni degli Eremiti presso il Kemonia), attuale Albergheria, è chiusa da mura che si estendono fino al mare. La città a sinistra si estende dalle mura di Palazzo Reale fino al Castello a Mare.

DAGLI SVEVI AGLI ANGIOINI

In poco più di due secoli la città passò dal dominio Svevo a quello Aragonese passando per quello Angioino e Chiaromontano. Nel XIII secolo Palermo venne suddivisa in cinque quartieri: i quattro quartieri storici con l'aggiunta della Conceria, zona che prendeva il nome dalle numerose botteghe di conciatori che vi erano presenti. Questo assetto rimase invariato fino al XV secolo. Dopo la dominazione Angioina e il regno Svevo diventa protagonista la classe feudale. Alle famiglie feudali, soprattutto ai Chiaromonte e agli Sclafani, si deve lo sviluppo edilizio ed urbanistico della città con la costruzione dei nobili palazzi che diedero il vero rinnovamento all'edilizia palermitana.

È del 1320 il Palazzo Steri (dei Chiaromonte) e del 1330 quello Sclafani. In quel periodo vengono ingranditi, rifatti o costruiti numerosi edifici religiosi. Un secolo, quindi, con grande fervore edilizio in cui le mura interne della città perdono significato; quelle esterne, invece, mantengono la loro funzione.

IL PERIODO SPAGNOLO

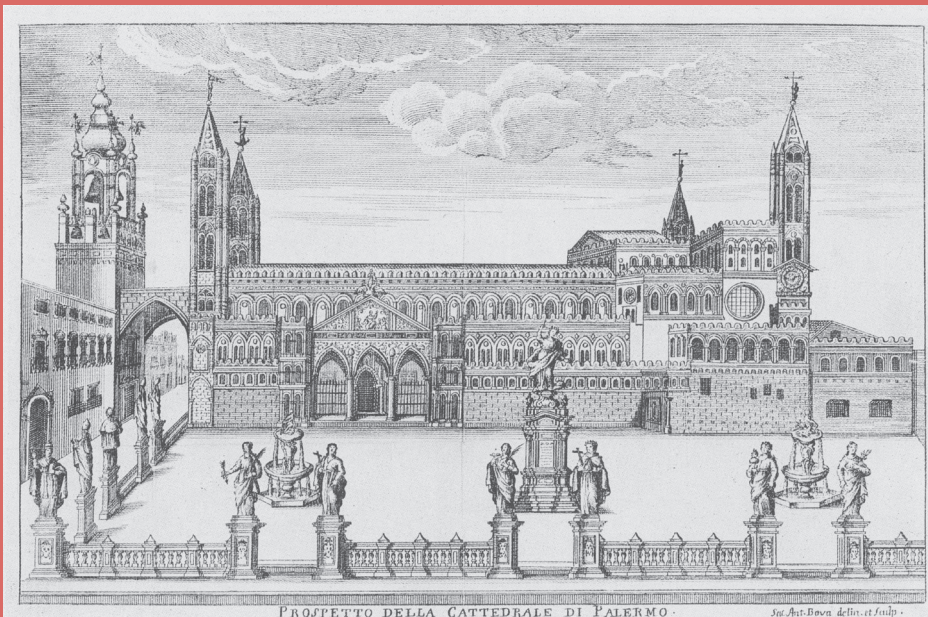
Nel 1412 la Sicilia divenne provincia Aragonese e nel tardo '400 furono fatte numerose riforme urbanistiche e vennero costruiti due dei palazzi più belli: Palazzo Abatellis (1490-93) e Ajutami Cristo (1490-95) ad opera di Matteo Carnilivari. Ma il più esteso intervento urbanistico fu quello del 1508 con l'erezione del palazzo Senatorio. La mole e la funzione pubblica dell'edificio determinarono la ristrutturazione del comprensorio circostante. È di questo periodo la pubblicazione delle prime carte di Palermo che testimoniano l'assetto della città. Nelle prime carte la città è analizzata con attenzione, vi sono indicate i borghi, i casali, le chiese, ecc.

A metà del 1500 (1564-67) numerosi furono gli interventi di risanamento ed urbanistici, fra cui l'allargamento e il prolungamento verso il mare della strada del Cassaro; questa sistemazione portava alle estreme conseguenze il concetto di penetrazione dal mare verso il territorio e si concluse con due monumentali porte a monte e a valle della strada: Porta Nuova e Porta Felice. Il Cassaro diventa il primo grande canale prospettico inserito in una città europea. Per effetto dell'apertura dell'ultimo tratto della via del Cassaro, si ebbe la sistemazione del litorale marino.

Un tentativo di sviluppo della città al di fuori della cerchia muraria fu intrapreso nel 1580 con la costruzione dello "Stradone per Monreale" rettilineo e logica continuazione del rettilineo del Cassaro. Nel 1570-90 fu realizzato il molo nord, imponente opera di ingegneria necessaria per l'insufficienza del porto della Cala.

Negli ultimi anni del secolo XVI, il Senato palermitano propone la costruzione di una strada: via Maqueda che, intersecandosi con il Cassaro, divide Palermo in "quattro nobili parti". Il taglio di via Maqueda, iniziato nel 1600, determinò un trauma nel luogo dell'incrocio con la via del Cassaro. Giulio Lasso costruì (ispirandosi all'incrocio viario romano delle Quattro fontane) l'Ottagono o Teatro del Sole (1608-20) detto volgarmente "i Quattro Canti" per assolvere in compito di perno prospettico della città. Si identificarono così i "quattro mandamenti" che presero anche il nome delle rispettive sante patronne e dagli edifici principali che vi avevano sede.

- *Albergheria* o **Palazzo Reale** (con patrona Santa Cristina). Corrispondeva alla Paleopolis e al centro amministrativo della città dove si trova appunto il Palazzo dei Normanni.
- *Seralcadio* o **Monte di Pietà** (con patrona Santa Ninfa) dove hanno sede, oltre al monte di pietà, anche la Cattedrale e il mercato del Capo.
- *La Loggia* o **Castellammare** (con patrona Santa Oliva)



PROSPETTO DELLA CATTEDRALE DI PALERMO

San. Ant. Bova delin. et sculp.

La cattedrale di Palermo incisione di Antonio Bova, 1761. Tratta da *Palermo città d'arte*, in *Guida ai monumenti di Palermo* di Cesare De Seta

[44]

nei pressi del porto antico. Vi erano il quartiere degli Schiavoni e la fortezza del Castello a mare.

- **Kalsa** o **Tribunali** (con patrona Sant'Agata) la zona della fortezza araba e dei tribunali dell'inquisizione, come Palazzo Chiaramonte.

All'alba del XVII secolo era nata urbanisticamente Palermo, una delle più moderne capitali europee. Durante i primi anni del 1700 viene edita una pianta della città ad opera dei fratelli Hermil e Giuseppe Ghibert. Prevale l'immagine di una città-giardino, le mura e i bastioni difensivi persero importanza, furono fatte infinite demolizioni e iniziò il primo sviluppo urbano al di là della cinta cinquecentesca.

LO SVILUPPO DELLE VIE EXTRAURBANE

Il XVIII secolo è contrassegnato dalla costruzione delle ville fuori città. Le principali zone di espansione sono tre: la zona di Bagheria (villa dei Trabia, dei Valguarnera, ecc.), Mezzomonreale e la Piana dei Colli. All'interno della città murata troviamo il complesso di Piazza San Domenico, importante ristrutturazione settecentesca.

LE BORGATE STORICHE

A cavallo fra il XVII e XVIII secolo a causa della crescita la popolazione non trova spazio sufficiente per edificare nuove abitazioni in una città rinchiusa ancora dalle mura bastionate. È in questo periodo che nascono i primi insediamenti al di fuori delle mura, primo fra tutti il Borgo marinaro di Santa Lucia, corrispondente all'attuale Borgo Vecchio. Altri centri erano già presenti in tutto il territorio

limitrofo, le cosiddette borgate storiche, alcune di queste sorte in epoca molto antica come Sferracavallo o Mondello. Il sistema delle ville invece spinse parte della popolazione a lasciare il centro cittadino verso la ricca zona agricola. Così nei pressi delle residenze nobiliari, collegate al centro da una capillare rete viaria, sorgeranno questi nuovi insediamenti corrispondenti a delle appendici della città nel territorio, che avranno una notevole importanza nello sviluppo socio economico della città.

L'INIZIO DELLA PIANIFICAZIONE

Alla fine del 1700 (1778) viene attuata la Crociera dei Quattro Canti di Campagna, che esprime la volontà di sviluppo della città al di fuori delle mura che erano diventate inutili. La via Maqueda viene prolungata oltre le mura fino al piano di Santa Oliva. Contemporaneamente, dal piano antistante la chiesa di San Francesco di Paola, viene tracciata una via rettilinea fino al mare, lo Stradone dei Ventimiglia, oggi via Mariano Stabile che, intersecando il prolungamento di via Maqueda, forma i Quattro Canti di Campagna ripetendo lo schema manierista della grande croce urbana. Questo intervento è presente nell'importantissima pianta del Marchese di Villabianca (1777), il documento più significativo della cartografia settecentesca. In pianta è riportato il geometrico disegno di Villa Giulia progettato da Nicolò Palma che fu il primo giardino pubblico di Palermo e fra i primi in Italia.

Nel 1781 fu creato anche l'orto botanico, a tutt'oggi uno dei più bei giardini d'Italia e il più grande d'Europa. Nel 1798 Ferdinando IV acquista la Villa ai Colli del Marchese della Scala e istituisce un parco di circa 400 ettari: la Favorita. Nei primi decenni del XIX secolo vengono attuati a Palermo interventi strutturali che configureranno

il volto della città contemporanea. In questo periodo la popolazione comincia sempre più a spostarsi all'esterno delle mura, tanto che l'amministrazione comunale, nel 1819, istituisce i due nuovi quartieri Oreto e Molo e iniziano i lavori di miglioramento dei tracciati viari di collegamento. Dopo il 1819 si aggiunsero ai vecchi quartieri i nuovi che comprendevano le zone della nuova espansione urbana e le borgate. Con l'annessione della Sicilia al Regno di Italia si elaborarono una serie di piani per risanare i vecchi quartieri, ma le demolizioni portarono all'edificazione di abitazioni organizzate su uno schema di strade ortogonali.

Questo progetto non fu accettato e vennero redatti alcuni piani di ampliamento che portarono ad un'espansione incontrollata e alla necessità di un Piano Regolatore.

IL PIANO GIARRUSSO E IL TAGLIO DI VIA ROMA

Il primo Piano Regolatore fu il Piano Regolatore di Risanamento e Ampliamento redatto dall'ingegnere Giarrusso ma subì delle varianti e venne ridotto alle sole opere urgenti. Tale Piano venne approvato nel 1885 e prevedeva l'apertura di quattro strade perpendicolari agli assi preesistenti che creassero degli incroci ortogonali al centro di ogni mandamento. Queste strade avrebbero avuto il compito di aprire la stretta e disordinata maglia viaria antica permettendo il passaggio dell'aria e della luce rendendo più salubri le varie zone. Tale strumento sarebbe stato riferimento normativo per 60 anni. Per dislocare la popolazione dalle zone interessate dai lavori si vennero a creare nuovi quartieri posti soprattutto in riva al mare, come nei pressi delle borgate di Romagnolo nella zona sud e dell'Acquasanta alle falde del monte Pellegrino.

Delle quattro grandi strade previste vennero realizzate soltanto l'attuale via Mongitore, che taglia parallelamente al Cassaro il quartiere dell'Albergheria, e la via

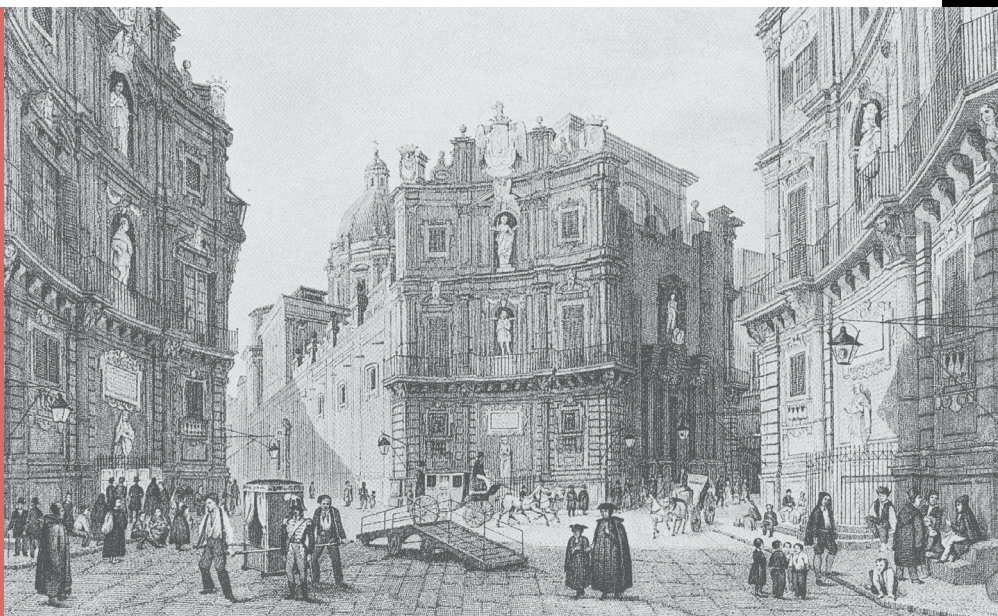
Roma. La via Roma divenne dunque un importante asse cittadino che metteva in collegamento la Stazione centrale con la zona portuale del Borgo Vecchio. Per questo motivo sulla via si edificarono il Teatro Biondo e in epoca fascista il palazzo della Posta Centrale.

Nel 1886 la costruzione della Stazione Centrale favorì lo sviluppo della città verso sud e la nuova via Roma la collegherà poi con i quartieri moderni alto-borghesi a occidente e con il porto. La via della Libertà, proseguimento della via Maqueda, fu ulteriormente prolungata, vi furono costruiti molti edifici d'abitazione sul lato destro, mentre la zona sinistra fu conservata a giardini diventando un nuovo quartiere che si estendeva ad ovest con un regolare tracciato ortogonale. A ventaglio, nella zona nord, comprese tra il mare, la città antica e l'Olivuzza si situano le raffinate ville Liberty ad opera dell'architetto Ernesto Basile. È l'edilizia Liberty che ha subito i colpi più duri nel dopoguerra, quando la speculazione edilizia ha prodotto la caotica espansione di Palermo. La devastazione della città e del territorio ha avuto inizio proprio con l'eliminazione di quanto di buono la borghesia Belle Époque aveva prodotto.

Il ventennio fascista, se da un lato è stato responsabile di infelici operazioni, quali lo sventramento del rione Conceria, che ha cancellato un importante brano del tessuto medievale della città, ha lasciato però la propria riconoscibile impronta in alcune realizzazioni di edilizia economica e popolare di buon livello, come il riuscito quartiere-giardino del Littorio (oggi Matteotti), e in edifici ridondanti ma di sicuro interesse, come il Palazzo delle Poste, tipiche espressioni architettoniche del regime.

IL CONCORSO DEL 1939 E I BOMBARDAMENTI

Nel 1939, vista la necessità di dotare la città di uno strumento che desse ordine all'edificazione di una città in pe-



renne crescita, venne indetto un concorso nazionale per la redazione di un Piano regolatore e di ampliamento previsto per una città di oltre 700.000 abitanti.

Nel 1941 furono proclamati i quattro progetti vincitori ex aequo che mostrarono l'importanza di creare una tangenziale posta al di là della città, ma entro i rilievi montuosi che avrebbe svincolato il centro dal traffico pesante in direzione Messina - Trapani (l'attuale Viale Regione Siciliana). Le indicazioni riportate dai progetti vincitori avrebbero dovuto essere seguite dall'Ufficio Tecnico Comunale nella stesura del Nuovo Piano Regolatore Generale.

Alla vigilia della guerra il tessuto urbano di Palermo era costituito dal centro storico, dal tessuto minuto delle borgate e dal tessuto ottocentesco a sud e a nord del centro storico. I bombardamenti alleati della seconda guerra mondiale sconvolsero la città e oltre a migliaia di morti e feriti causarono gravissimi danni al patrimonio urbanistico della città. Nel 1944 l'Ufficio tecnico comunale redasse poi un piano regolatore in collaborazione con i vincitori del concorso, ma questo piano rimase solo sulla carta. Tale piano fu redatto in conformità alla Legge Urbanistica del 1942 (Legge fascista). In seguito ai pesanti bombardamenti subiti dalla città durante la seconda guerra mondiale, Palermo venne inserita fra le città che dovevano adottare un piano di ricostruzione. Infatti nel 1947 fu approvato il Piano di Ricostruzione in base alla Legge del 1° Marzo del 1945.

Il Piano di Ricostruzione doveva e avere un carattere transitorio, invece, fu determinante per lo sviluppo della città. Infatti diede l'avvio alle grandi speculazioni edilizie dovute soprattutto al notevole aumento della rete viaria. Del Piano di Ricostruzione resta comunque il primo vero tentativo di bilanciare l'espansione nord della città con alcune previsioni a sud: tra queste la vasta area industriale della zona Bravaccio e l'individuazione di una nuova direttrice lungo la costa che cerca di riproporre il rapporto fra il mare e la città.

IL PRG DEL 1962

Nel 1956 l'espansione della città procedeva nel totale caos da cui sorsero 10 quartieri di edilizia sociale a corona lungo la città spesso scelti in modo tale da poter privilegiare i proprietari privati. Nello stesso anno si rimise mano al PRG la cui approvazione avvenne soltanto nel 1962 dopo oltre 25 varianti. Fu un totale fallimento del controllo, già caotico, del processo di espansione, facendo del piano stesso strumento di speculazione.

Sono gli anni del cosiddetto "Sacco di Palermo" in cui si opera un'intensa opera di speculazione edilizia a danno del paesaggio, dei beni culturali e della dotazione di servizi per i cittadini tutto condizionato da operazioni criminali e mafiose. Scandaloso il caso della demolizione

di Villa Deliella progettata da Ernesto Basile nel 1905 e distrutta in una sola notte nel 1959. Lo scandalo fu tale che al posto dell'edificio venne lasciato un grande vuoto dove oggi ha sede un parcheggio.

Il 1962 è anche l'anno dell'approvazione della legge 167 che impone la realizzazione di alloggi economici popolari (PEEP). Uno di questi sarà il noto quartiere ZEN 2, ancora oggi simbolo negativo di bassa qualità della vita urbana.

IL PPE DEL CENTRO STORICO DEL 1993

Il PRG del 1962 non considerava il centro storico come una zona da tutelare o valorizzare, ma a conti fatti, come una zona "bloccata", bloccata nella sua condizione di degrado, che poteva sbloccarsi solo in attesa di crolli e di nuove ricostruzioni. In questa situazione di stallo, si cominciò a muovere qualcosa solo a partire dagli anni '80.

Alcuni importanti professionisti studiarono questo centro storico così denso e pluristratificato attraverso la ricerca storica e l'individuazione di "contesti" storici particolari. Il loro lavoro si tradusse nel 1983 nel cosiddetto "Piano Programma", un interessante ed utilissimo elaborato, che però purtroppo non aveva nessuna valenza normativa. Tale piano, perciò, venne abbandonato e subentrò il Piano dei Servizi redatto nel 1987 dall'Università di Palermo. Questo lavoro però diede impulso ad una visione più organica e assolutamente positiva del centro storico che confluì nella redazione del "Piano Particolareggiato Esecutivo del Centro Storico" del 1993; a tutt'ora vigente.

Per quanto riguarda il PRG, nel 1994 fu redatto il Novo PRG destinato a sostituire quello del '63 e rimase in vigore fino al 2004. Uno dei principi informatori di tale PRG fu proprio la riqualificazione delle periferie.

IL DECENNALE A PALERMO: DAI QUARTIERI ALLE CIRCOSCRIZIONI

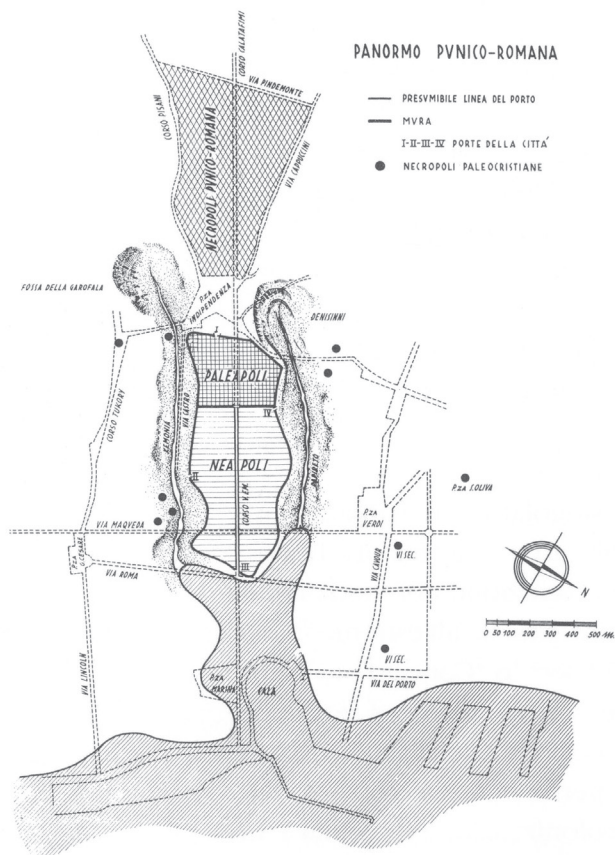
Da questo excursus dell'espansione urbanistica della città si può comprendere come la città sia sempre stata divisa in unità di decentramento (quartieri) che ha portato il territorio urbano attualmente alla suddivisione in 25 quartieri. In realtà Il Consiglio Comunale, con delibera n° 420 del 21 dicembre 1976, aveva ripartito il territorio comunale in 55 unità di primo livello, corrispondenti a zone socio-urbastiche ben distinte del tessuto urbano.

Nella stessa occasione, le 55 unità di primo livello erano state raggruppate in 25 quartieri, e tale ripartizione è rimasta in vigore fino alla metà degli anni '90, quando, con le delibere n° 300 del 6 dicembre 1995 e n° 140 del 9 luglio 1997, il Consiglio Comunale ha adottato una nuova ripartizione del territorio in otto Circoscrizioni create intorno alle parrocchie.

CARTOGRAFIE STORICHE

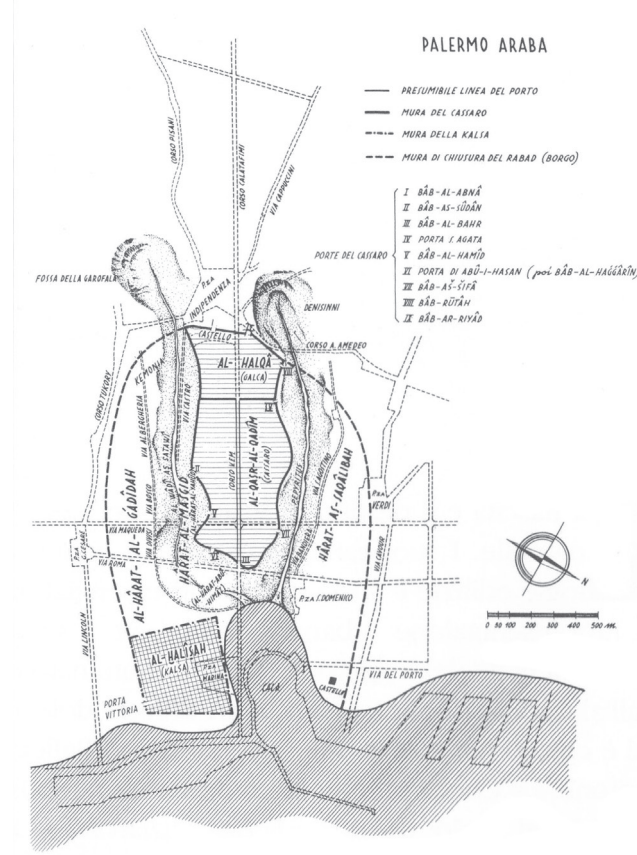
254 A.C.

[46] **Palermo Punico-Romana**
(elaborazione grafica di Rosario La Duca)



831 D.C.

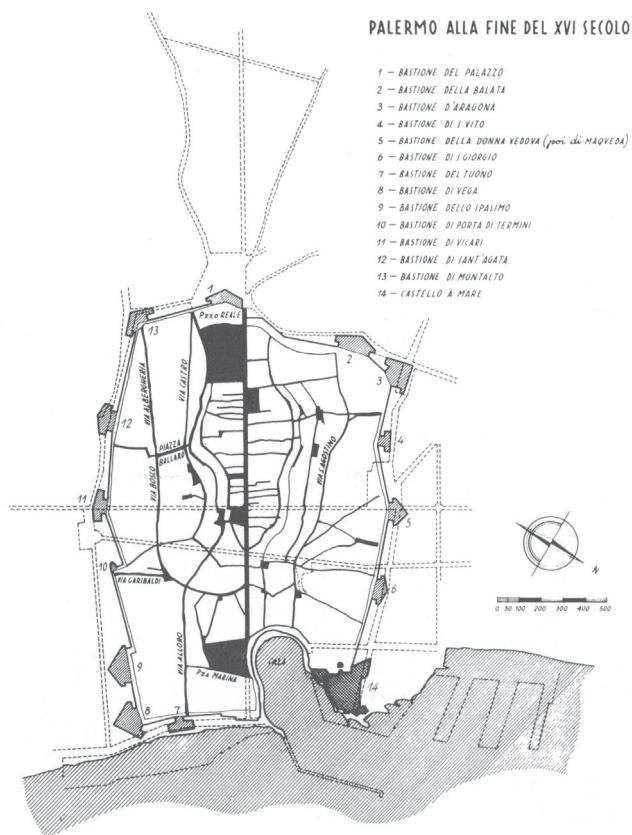
[47] **Palermo Araba**
(elaborazione grafica di Rosario La Duca)



da
Palermo città d'arte, in Guida ai monumenti di Palermo
a cura di M. A. Spadaro e S. Troisi.
Cesare De Setta

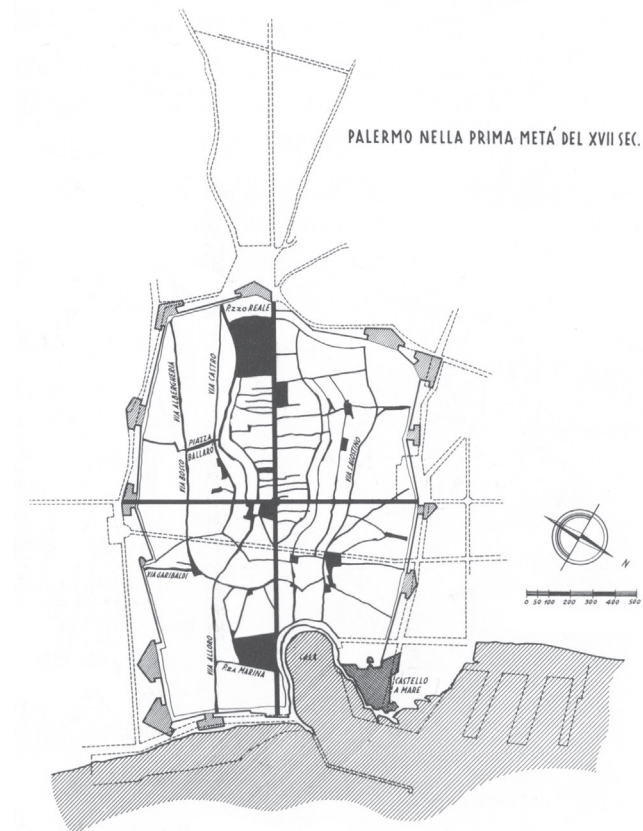
1412

[49] Palermo prima del taglio di via Maqueda [41]
(elaborazione grafica di Rosario La Duca)



1570

[50] Palermo dopo il taglio di via Maqueda [42]
(elaborazione grafica di Rosario La Duca)



da

Palermo città d'arte, in Guida ai monumenti di Palermo

a cura di M. A. Spadaro e S. Troisi.

Cesare De Seta

1600

[51] Palermo nel XVI secolo, prima del taglio di via Maqueda (incisione di Rosario La Duca)



da
Raccolta
Rosario La Duca

1713

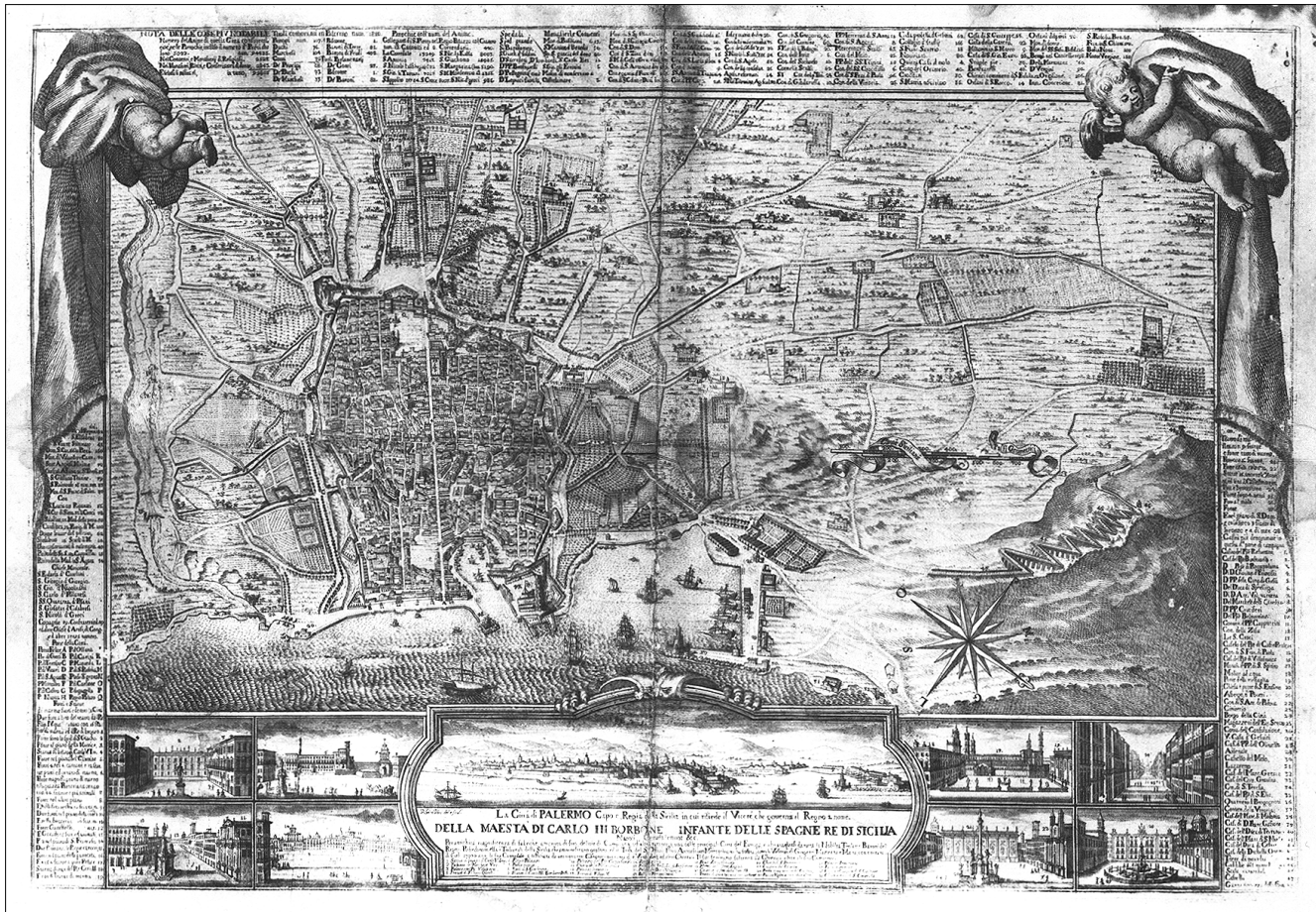
[52] Palermo nel XVIII secolo
(disegno di H. e G. Ghibert, Parigi)



da
Raccolta
Rosario La Duca

1759

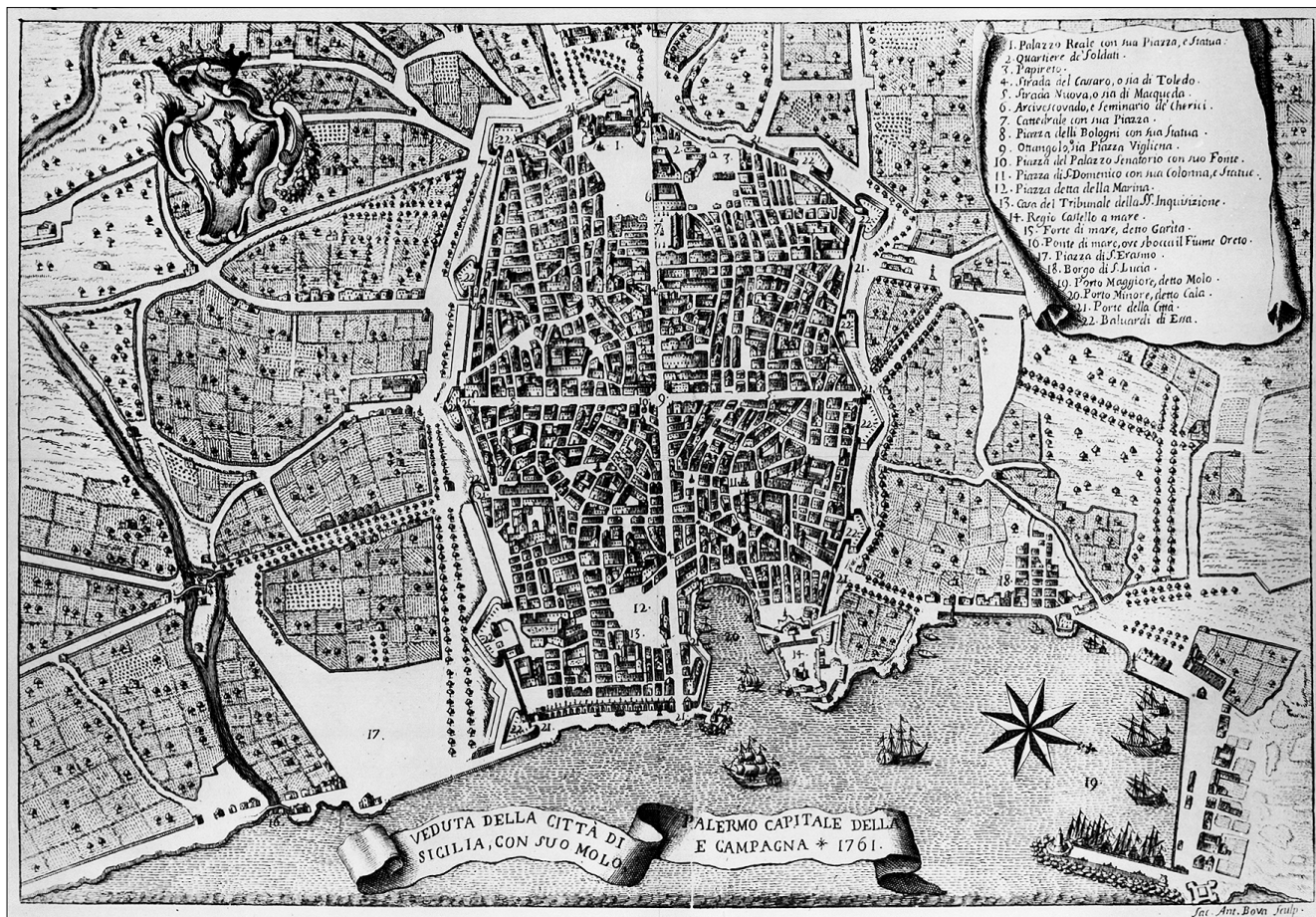
[53] Palermo e il territorio circostante nel XVIII secolo
(incisione di Giuseppe Vasi)



da
Raccolta
Rosario La Duca

1761

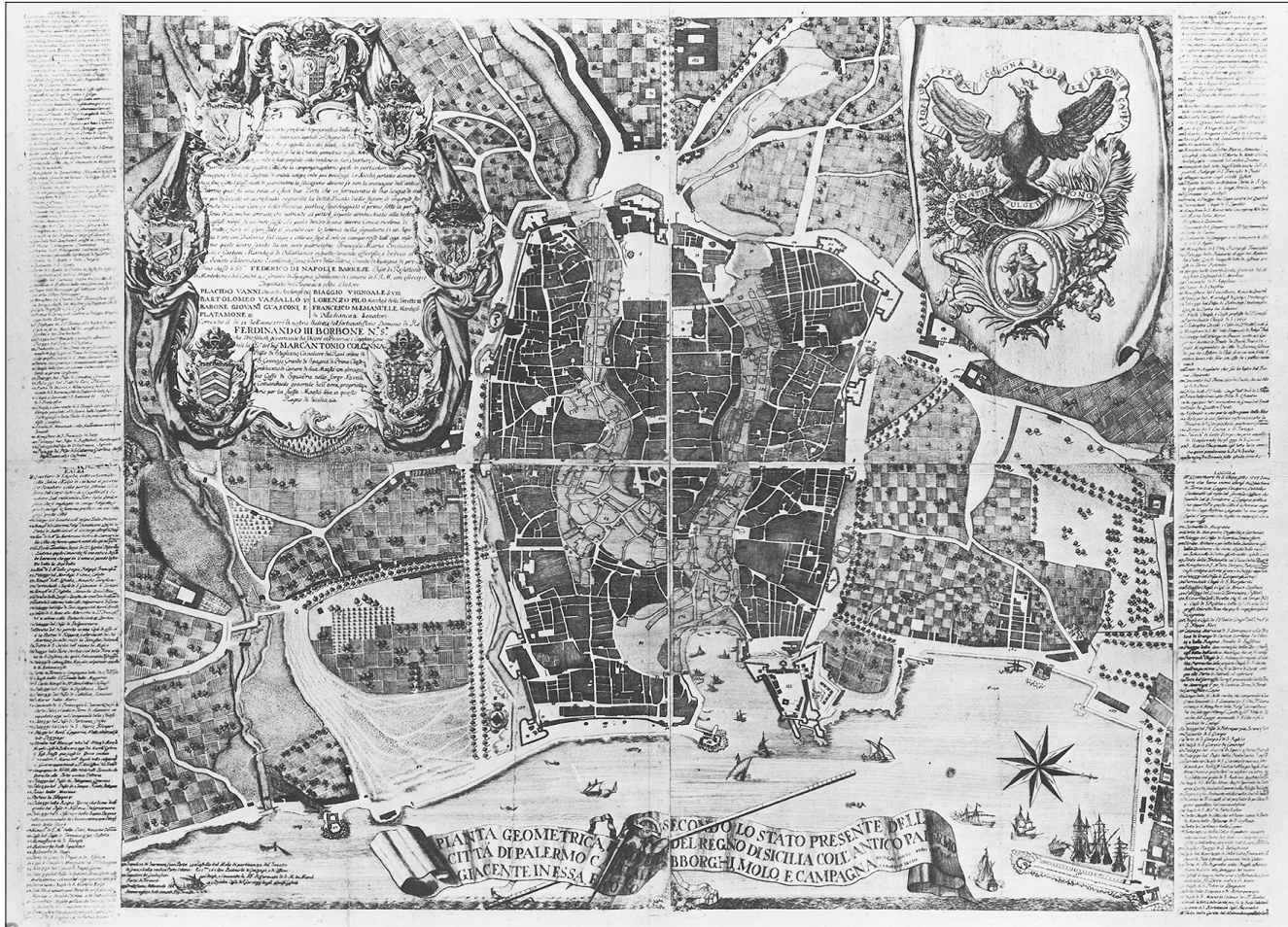
[54] Veduta della città di Palermo
(incisione di Rosario La Duca)



da
Raccolta
Rosario La Duca

1777

[55] Pianta geometrica di Palermo del Marchese di Villabianca



da
Raccolta
Rosario La Duca

1761

[56] Planimetria di Palermo [48]
(con disegno di Villa Giulia di Nicolò Palma)



da
Raccolta
Rosario La Duca

1818

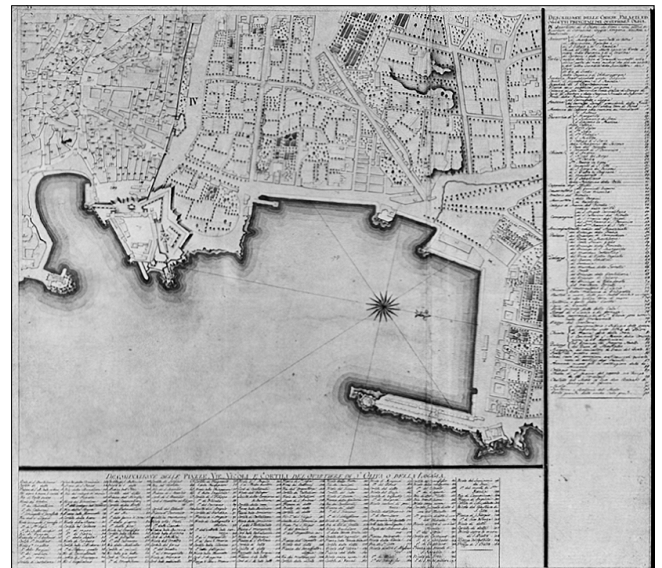
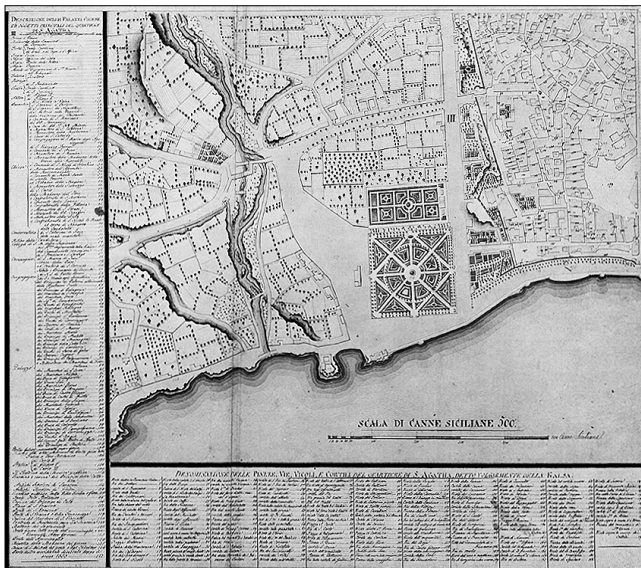
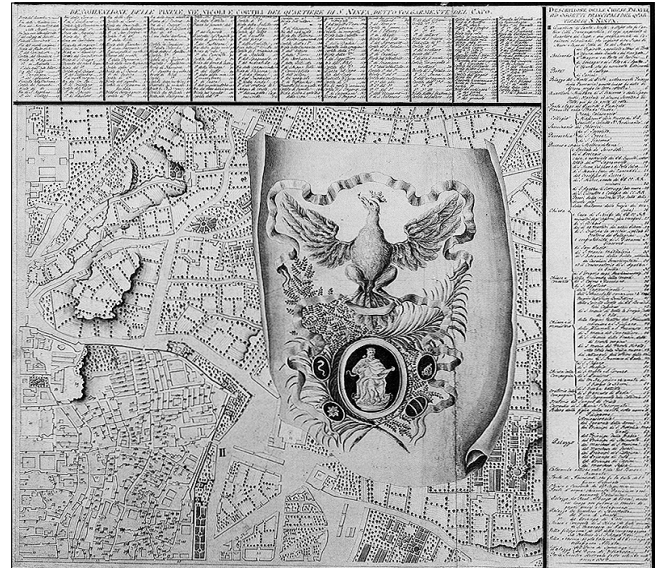
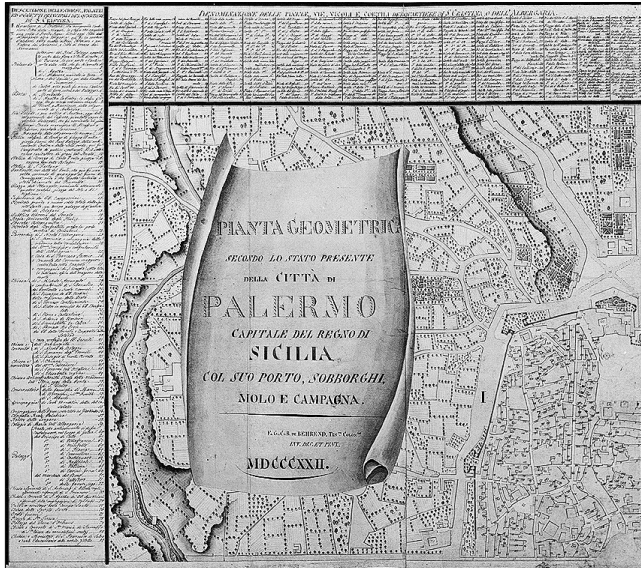
[57] Palermo agli inizi del XIX secolo
(disegno di Gaetano Lossieux)



da
Raccolta
Rosario La Duca

1822

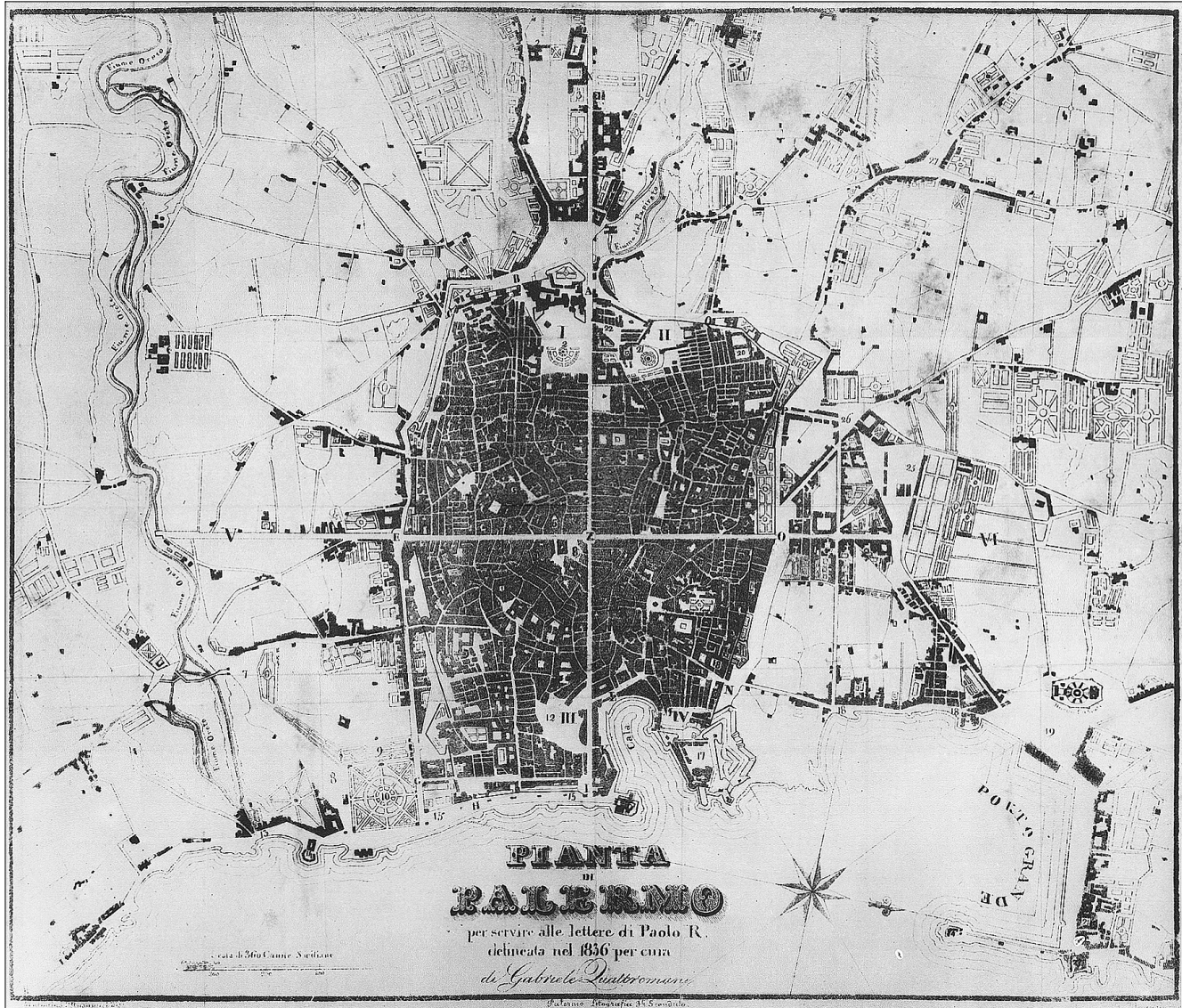
[58] Aggiornamento della pianta del Marchese di Villabianca
(disegnata a penna su carta e colorata a tempera dal colonnello De Behrend)



da
Raccolta
Rosario La Duca

1856

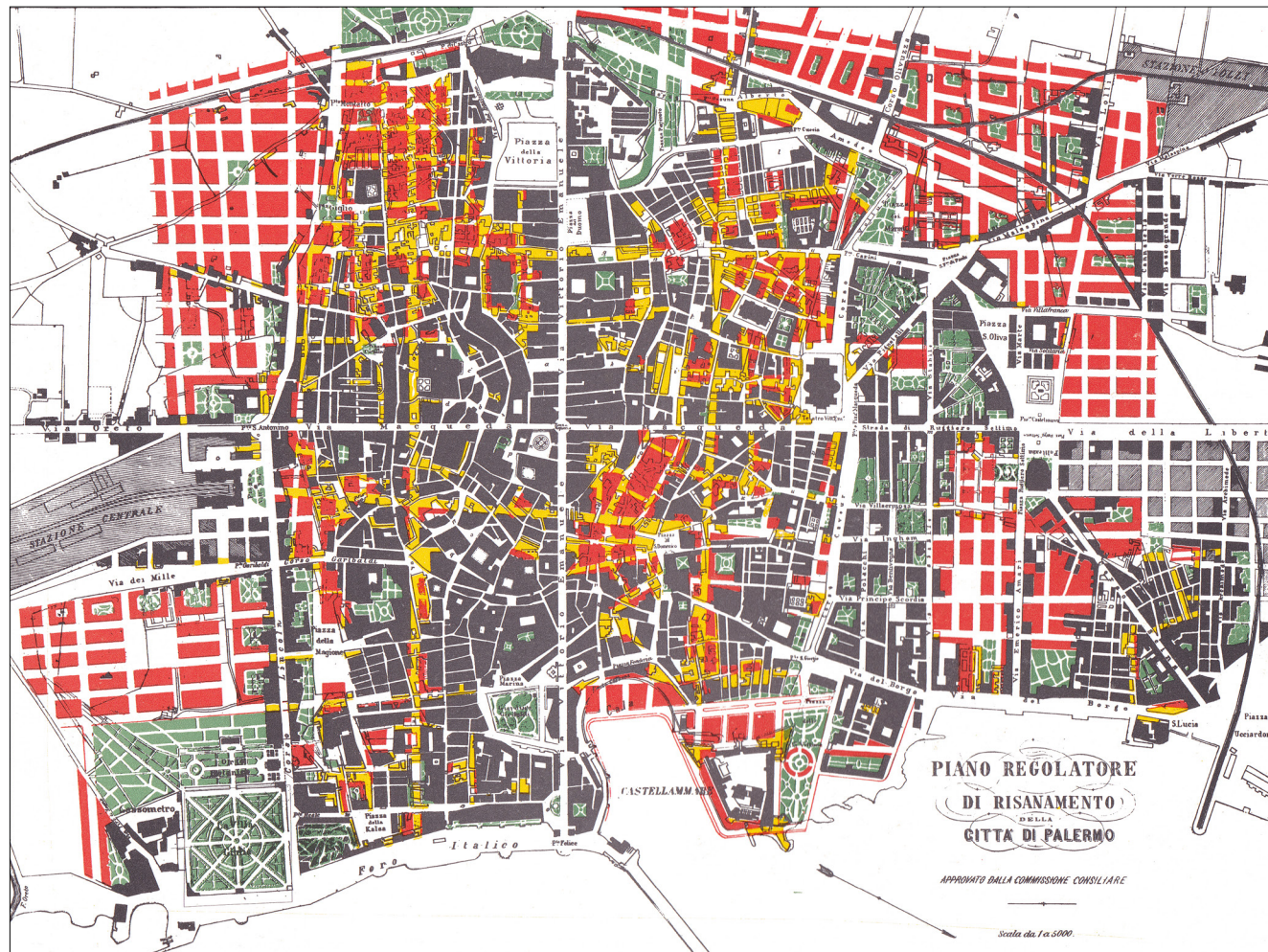
[59] Pianta di Palermo



da
Raccolta
Rosario La Duca

1885

[60] Piano regolatore e di Risanamento della città di Palermo
(elaborazione di Felice Giarrusso)



da

Urbanistica e società negli ultimi 200 anni a Palermo: crescita della città e politica amministrativa dalla ricostruzione al piano del 1962
Salvatore Mario Inzerillo

1886

Piano regolatore e di Ampliamento della città di Palermo [61]

da

Urbanistica e società negli ultimi 200 anni a Palermo: crescita della città e politica amministrativa dalla ricostruzione al piano del 1962
Salvatore Mario Inzerillo

PIANO REGOLATORE
DI RISANAMENTO E DI AMPLIAMENTO
DELLA
CITTÀ DI PALERMO

SCALA 1:5000

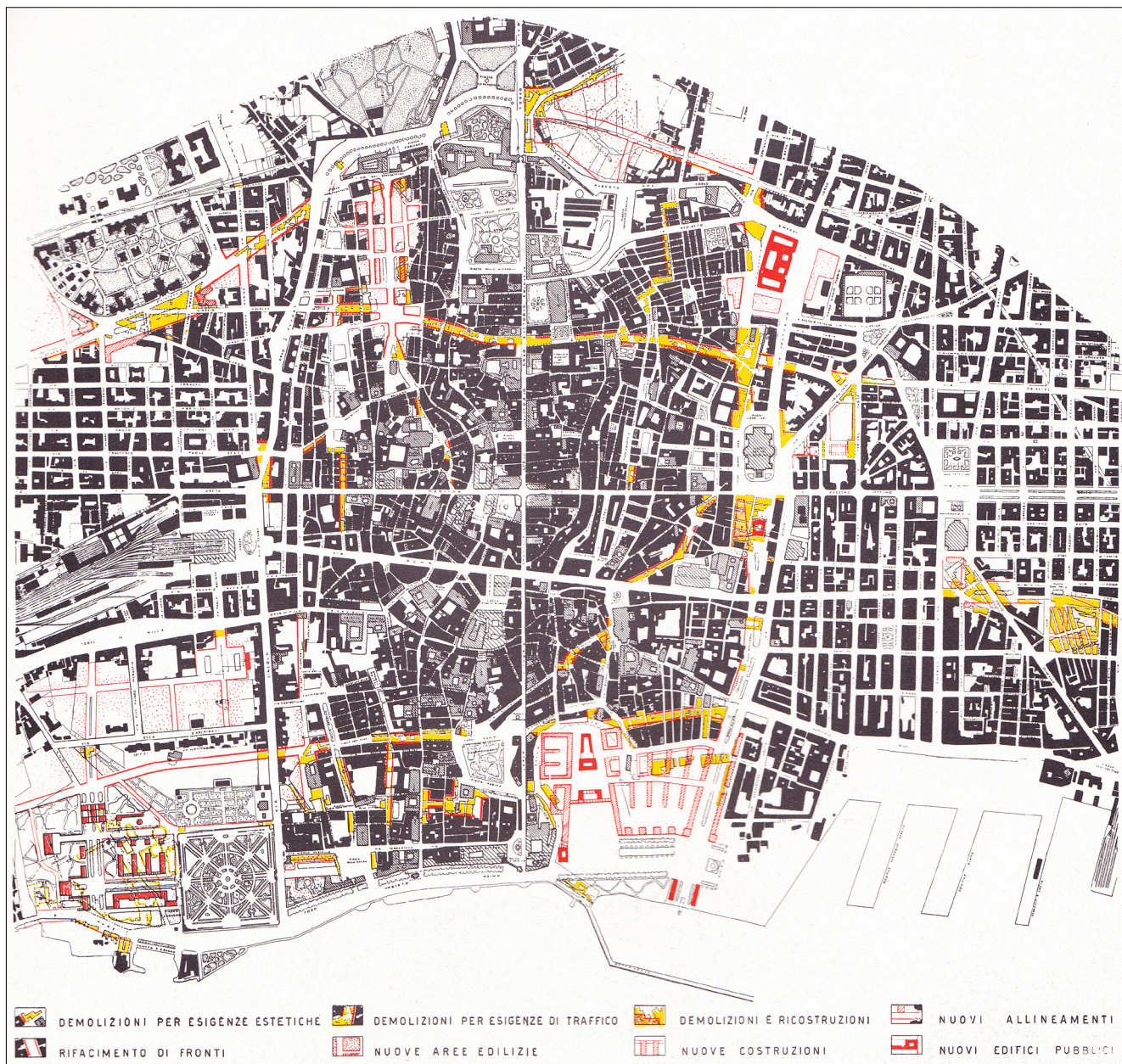


*Prodotto e pubblicato per
l'Amministrazione
della Città di Palermo
dal
Ufficio di Urbanistica
e di Pianificazione
della Città di Palermo
nel 1962*

1939

[62]

Progetto del gruppo Caracciolo
(uno dei 4 vincitori ex equo del Concorso la ricostruzione di Palermo nel dopoguerra)



da

Urbanistica e società negli ultimi 200 anni a Palermo: crescita della città e politica amministrativa dalla ricostruzione al piano del 1962
Salvatore Mario Inzerillo

1947

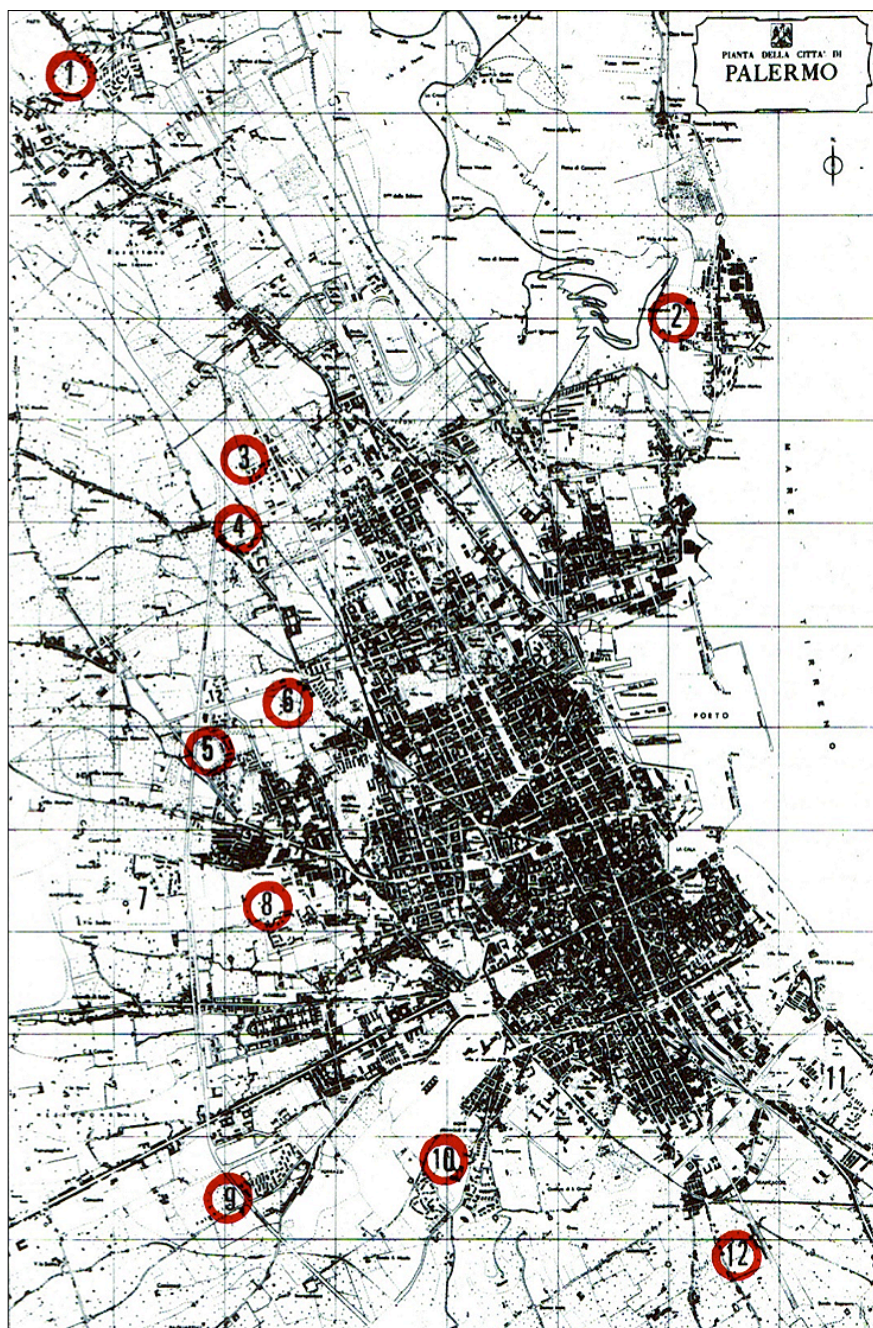
[63] Piano di Ricostruzione
(a cura di Nicoletti, Lo Jacono, Spatrisano, Susini)



da
www.comune.palermo.it

1956

[64] I quartieri di edilizia sociale, prima del PRG



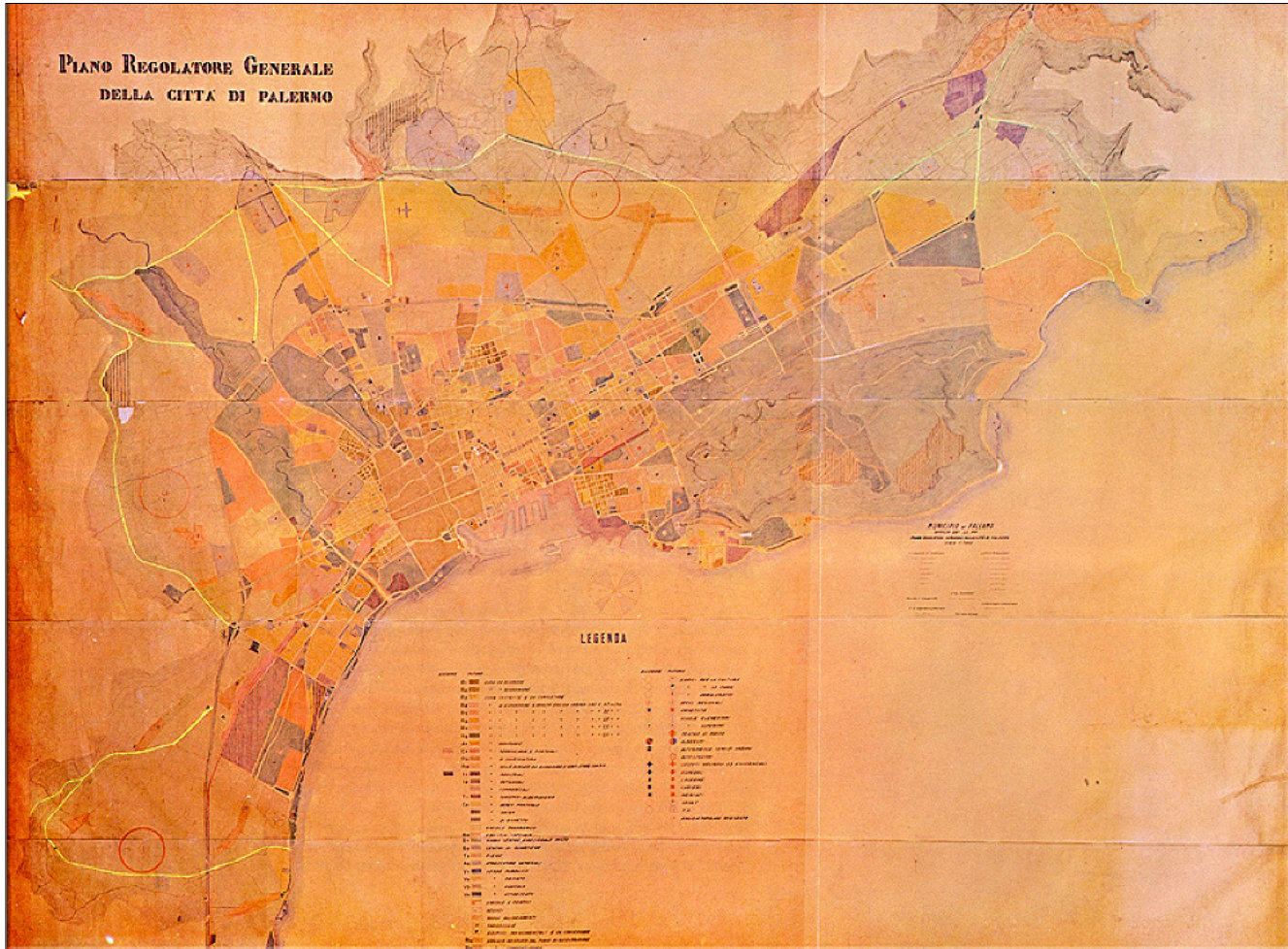
da

Collezione privata gentilmente concessa dal Professore Nino Vicari

1956

[65]

Il piano regolatore generale dal Sindaco Salerno al Sindaco Lima



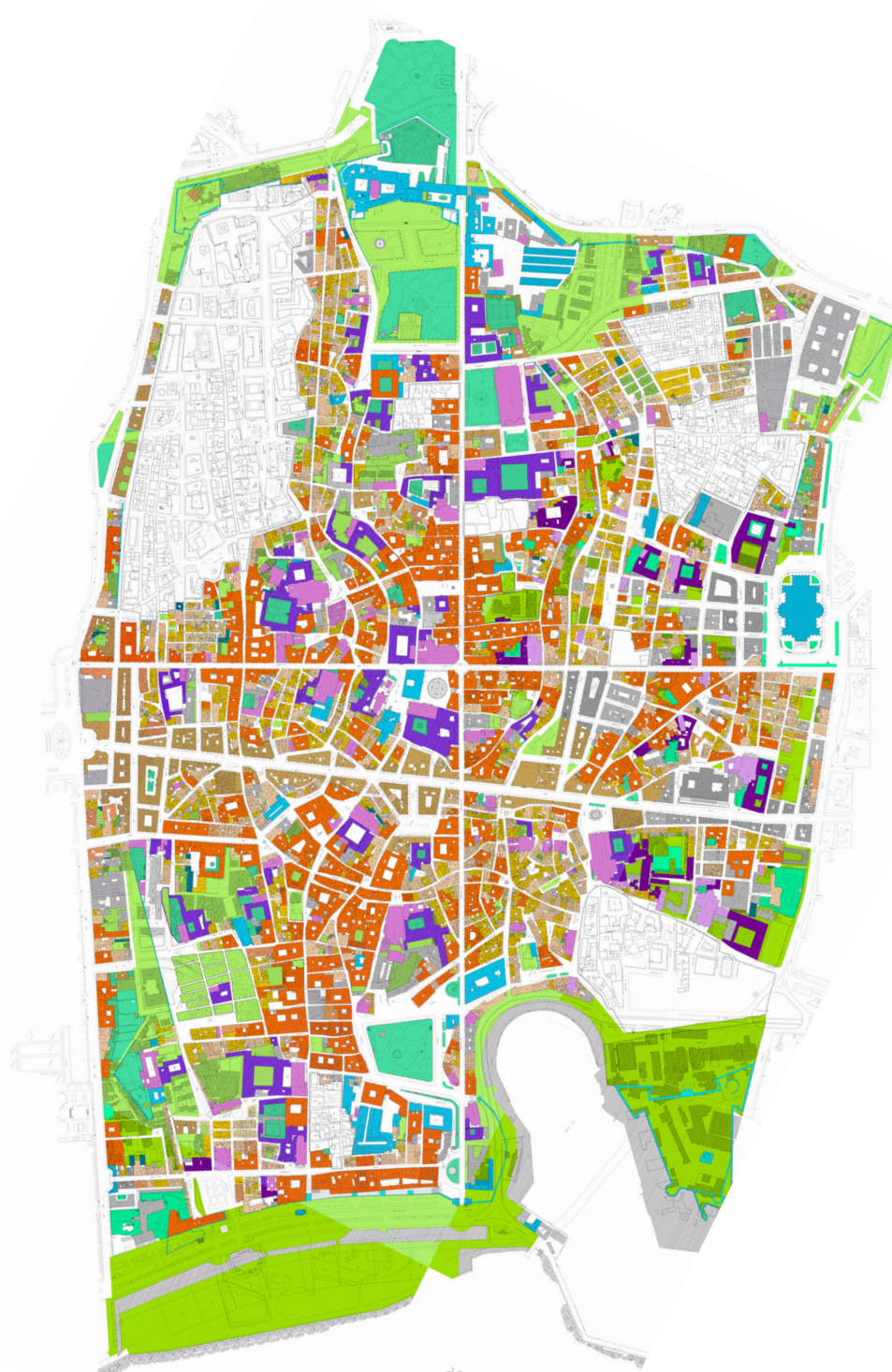
da

Collezione privata gentilmente concessa dal Professore Nino Vicari

1993

[66]

Il piano particolareggiato esecutivo (PPE) del centro storico



da

Comune di Palermo

I 249,7 ETTARI - 21589 ABITANTI

II 2139 ETTARI - 74450 ABITANTI

III 2034,7 ETTARI - 77068 ABITANTI

8 CIRCOSCRIZIONI

VIII 1532,7 ETTARI - 127794 ABITANTI



IV 2616,3 ETTARI - 112158 ABITANTI

VII 3295,5 ETTARI - 74330 ABITANTI

Censimento 2011

VI 2390 ETTARI - 78548 ABITANTI

V 1753,1 ETTARI - 120885 ABITANTI

25 QUARTIERI

