

I  
-  
U  
-  
A  
-  
V

Università  
luav  
di Venezia

**Dottorato in Nuove tecnologie per il territorio,  
la città e l'ambiente**

**XXIX° ciclo**

**Tesi:**

**Dalla *Smart city* alla *Smart land*:  
tecnologie intelligenti per l'agricoltura,  
l'allevamento e l'ambiente**

**Dottorando: Diego Tiozzo Netti**

**Relatore: Prof. Leonardo Filesi**

**maggio 2018**

**Titolo:** Dalla Smart city alla Smart land

**Autore:** Diego Tiozzo Netti

**Soggetto:** Tecnologie intelligenti per l'agricoltura, l'allevamento e l'ambiente

**Tags:** smart city, smart land, smart farms, smart livestock, precise agriculture, precise livestock, agriculture robotics

Questo documento viene rilasciato con licenza Creative Commons del tipo  
Attribution-NonCommercial 4.0 International  
(CC BY-NC 4.0)



**Attribution.**

You must give appropriate credit, provide a link to the license, and indicate if changes were made. You may do so in any reasonable manner, but not in any way that suggests the licensor endorses you or your use.



**NonCommercial.**

You may not use the material for commercial purposes.

## SOMMARIO

1.	ABSTRACT .....	7
2.	INTRODUZIONE .....	9
2.1.	Dalla Smart city alla Smart land: paradigmi a confronto .....	11
3.	LE QUESTIONI DI PARTENZA .....	15
3.1.	Il sistema agricolo di riferimento .....	15
3.2.	La centralità dello studio dei suoli .....	16
3.2.1.	Funzioni e componenti del suolo .....	18
3.2.2.	Fertilità del suolo e fertilizzazione.....	19
3.2.3.	Il campionamento e scelta dei parametri .....	20
3.3.	Il benessere delle piante .....	23
3.3.1.	I problemi abiotici nelle piante .....	24
3.3.2.	Fattori del suolo, proprietà fisiche e pH .....	24
3.3.3.	Fertilità del suolo: eccessi e deficienze.....	25
3.3.4.	Conclusioni.....	33
3.4.	Animali da pascolo e territorio.....	34
3.4.1.	Stato attuale .....	35
3.4.2.	L'importanza del monitoraggio delle mandrie .....	36
3.4.3.	In che modo gli animali possono utilizzare il territorio? .....	37
3.4.4.	Verso un modello di distribuzione degli animali al pascolo .....	38
3.4.5.	Direzioni future .....	40
4.	REVIEW DI ALCUNE TECNOLOGIE "INTELLIGENTI" PER L'AGRICOLTURA, L'ALLEVAMENTO E L'AMBIENTE.....	41
4.1.	Il concetto di Smart farming.....	41
4.2.	Agricoltura di precisione.....	42
4.2.1.	Remote sensing: strumenti e metodi .....	43
4.3.	Reti Wireless Sensor Networks (WSN) .....	47
4.3.1.	Sistemi trasmissivi .....	49
4.3.2.	Applicazioni in campo agricolo.....	51
4.3.3.	Applicazioni nell'allevamento .....	53
4.3.4.	Problematiche applicative delle reti WSN.....	55
4.3.5.	Conclusioni.....	57
4.4.	Tecniche innovative per riconoscere i disturbi nelle piante .....	57
4.4.1.	Tecniche molecolari .....	58
4.4.2.	Tecniche spettroscopiche.....	59
4.4.3.	Composti organici volatili (VOC) e disturbi delle piante .....	61
4.4.4.	Prospettive .....	64
4.5.	Laboratory-on-chip (LOC): la frontiera dell'analisi strumentale.....	65
4.5.1.	Vantaggi dei dispositivi LOC .....	67
4.5.2.	Direzioni future .....	67
4.6.	Tracking animale e utilizzo nel campo dell'allevamento .....	68
4.6.1.	Classificazione delle tecnologie per il tracking degli animali .....	69
4.6.2.	Tecnologie che misurano gli effetti ambientali prodotti dagli animali .....	69
4.6.3.	Dispositivi collegati direttamente agli animali .....	72
4.6.4.	Conclusioni.....	76

4.7.	Piattaforme mobili per usi agricoli e allevativi .....	76
4.7.1.	I veicoli senza pilota .....	78
4.7.2.	Lo sviluppo delle piattaforme autonome .....	80
4.7.3.	Tecniche e metodi per la navigazione autonoma .....	81
4.7.4.	Lo sviluppo del mercato dei droni per l'agricoltura .....	87
4.7.5.	Impiego di sensoristica avanzata .....	93
4.7.6.	Prospettive .....	95
5.	SENSORISTICA DISTRIBUITA E GESTIONE DEI DATI .....	97
5.1.	Sensoristica e Internet delle cose .....	97
5.1.1.	Limiti e prospettive delle reti sensoriali .....	98
5.2.	La sfida dei Big data .....	99
5.2.1.	La necessità di una migliore gestione dei dati .....	101
5.3.	L'approccio "collaborativo" al fare ricerca.....	102
5.3.1.	Esempi applicativi .....	103
5.3.2.	Le criticità dell'approccio Citizen Science.....	105
6.	CASI STUDIO .....	107
6.1.	Il dispositivo Fertimetro.....	107
6.1.1.	Metodologia.....	108
6.1.2.	Descrizione .....	109
6.1.3.	Potenzialità .....	110
6.2.	Il Progetto Sensuolo .....	111
6.2.1.	Descrizione .....	112
6.3.	Conclusioni .....	114
7.	PROPOSTE PROGETTUALI.....	115
7.1.	Potenzialità di un uso integrato e combinato di alcune tecnologie "intelligenti" .....	115
7.2.	Il progetto SKYCROP.....	116
7.2.1.	Profilo "raccolta dati" (missione tipo a).....	116
7.2.2.	Profilo "analisi fito-patologica" (missione tipo b) .....	118
7.3.	Il progetto "FLIF" (Flying Livestock Farming) .....	121
7.4.	Analisi dei progetti.....	125
7.4.1.	Fattibilità delle soluzioni proposte.....	127
8.	APPLICABILITÀ DELLE IDEE PROGETTUALI.....	131
8.1.	La scelta del Brasile come ambito geografico "esteso" .....	131
8.2.	Analisi economica e ambientale del paese .....	132
8.2.1.	Una realtà economica e sociale complessa .....	132
8.2.2.	Le questioni ambientali .....	133
8.2.3.	Lo sviluppo dell'agrobusiness.....	134
8.3.	Il viaggio studio .....	135
8.3.1.	L'Escola Superior de Agricultura e il Centro Energia Nuclar.....	136
8.3.2.	Embrapa Instrumentação .....	137
8.3.3.	Il sistema agro-silvo-pastorale.....	140
8.3.4.	Il maneggio digitale .....	142
9.	CONCLUSIONI .....	145
10.	BIBLIOGRAFIA .....	147

11. SITOGRAFIA .....	153
12. ICONOGRAFIA.....	155

(pagina bianca)

# 1. ABSTRACT

L'idea di partenza è stata quella di applicare il paradigma delle *Smart cities* a luoghi diversi dal contesto urbano; la ricerca ha cercato di capire se alcune tecnologie innovative, sviluppate per le *città intelligenti*, potessero essere utilizzate anche in ambiti molto differenti, come nei contesti agricoli e rurali. Nella logica quindi di una *Smart land* che non si contrappone alla *Smart city* ma che ne costituisce l'estensione attraverso le *Smart farm*, cioè le fattorie intelligenti, si sono prese in considerazione alcune tecnologie che possono essere utilizzate in agricoltura e nell'allevamento degli animali da pascolo per aumentare la conoscenza dei fenomeni e per migliorare i relativi processi produttivi.

Dopo avere definito alcune questioni di partenza e dopo un'analisi delle tecnologie più interessanti e promettenti che potrebbero essere utilizzate in questi campi, si sono valutati dei casi studio dai quali si è preso spunto per elaborare le successive idee progettuali, prevedendone lo sviluppo e il miglioramento di alcune funzionalità esistenti ma anche immaginandone di nuove e più avanzate.

Nel primo caso, partendo da un dispositivo in grado di misurare la fertilità del suolo, si è ipotizzato come l'utilizzo di sensoristica di tipo *wireless*, integrata all'impiego di piattaforme mobili (*droni*), potrebbe aiutare a costruire un quadro conoscitivo più preciso e condiviso in campo agronomico.

Nel secondo caso si è immaginato come altre piattaforme, capaci invece di operare in autonomia e integrate da sensoristica di tipo avanzato, possano essere impiegate per il monitoraggio dello stato di salute delle piante.

Nel terzo caso si è infine valutato come, utilizzando alcune tecniche utilizzate per il tracciamento degli animali selvatici, si possa verificare e monitorare il posizionamento e lo stato di salute degli animali da pascolo.

Si è cercato inoltre di comprendere come potere affrontare la questione della gestione della grande quantità di informazioni prodotta dai dispositivi ambientali e di come alcune problematiche che derivano dalla gestione dei dati possono invece essere l'occasione per adottare e sviluppare un nuovo modo di fare ricerca che utilizza modelli di tipo partecipativo.

Si è infine svolta una valutazione sulla possibile applicazione di queste soluzioni ad ambiti geograficamente "estesi" come quelli riscontrabili in Sudamerica che, per una serie di fattori, giustificerebbero l'impiego dei sistemi innovativi come quelli proposti e che in alcuni paesi potrebbero trovare una adeguata rete di supporto tecnico-scientifico, oltre che le necessarie risorse economiche per essere realizzate.

Si ritiene che le idee proposte, se sviluppate e attuate concretamente, possano portare a grandi vantaggi ad agricoltori e allevatori, oltre che alle istituzioni tenute a governare e ad indirizzare le politiche di sviluppo in questi settori, permettendo non solo un più razionale utilizzo delle risorse naturali, ma anche conciliando le necessità dello sviluppo economico con il bisogno della loro conservazione.

(pagina bianca)



## 2. INTRODUZIONE

Il presente lavoro è il frutto delle attività sviluppate nell'ambito del Dottorato di ricerca in Nuove tecnologie per il territorio, la città e l'ambiente svolto presso l'Università IUAV di Venezia.

Vista l'attualità del tema dell'agricoltura (si è concluso nel 2015 l'Expo che aveva come titolo *Nutrire il Pianeta, Energia per la Vita*) si è deciso di affrontare la questione di come alcune tecnologie applicate al territorio, che nascono in ambiti quali geomatica, telecomunicazioni o robotica, possono essere utilizzate per monitorare il livello di fertilità e la qualità dei suoli, per verificare lo stato di salute delle piante, per tracciare la posizione o monitorare lo stato di salute degli animali da pascolo e, più in generale, per migliorare i processi produttivi in agricoltura e nell'allevamento.

La riflessione, in realtà, parte ancora più da lontano rispetto al tema dell'Expo; l'idea è che oggi agricoltura e allevamento si trovano ad un bivio dal quale si diramano due strade opposte:<sup>1</sup> da una parte quella dei processi di coltivazione o allevamento iper intensivi che dovranno soddisfare la domanda alimentare di sempre più persone; dall'altra si sta affermando la necessità di un approccio *più responsabile*, quantomeno di una maggiore consapevolezza su cosa si mangia e di come il cibo viene prodotto, senza però perdere di vista l'obiettivo principale, cioè riuscire a sfamare tutti, possibilmente in maniera adeguata e ragionevolmente economica.

Tra logiche opposte, cioè della *quantità vs. qualità* (si pensi all'uso intensivo dei pesticidi o degli OGM) e della *qualità vs. quantità* (che può essere rappresentata, ad esempio, dalla cosiddetta agricoltura *bio-dinamica*),<sup>2</sup> si ritiene vi possa essere una via alternativa che, attraverso l'uso di tecnologie "intelligenti", riesca a portare l'agricoltura e l'allevamento sul cammino della sostenibilità senza perdere di vista la produttività e il profitto di chi fa questo mestiere.

L'oggetto di questo lavoro è offrire un'idea di ciò che sarà possibile fare domani usando alcune delle tecnologie disponibili oggi,<sup>3</sup> facilitando le connessioni tra ambiti scientifici e tecnologici diversi. Il primo obiettivo è stato quello di estendere il paradigma della *Smart city* al territorio che la circonda cercando di capire con un approccio definibile di tipo *down sensing*,<sup>4</sup> cioè con un'analisi che parte da una visione della terra dall'alto (usando il satellite) e scende verso il basso (utilizzando i sensori a livello del terreno), se alcune delle tecnologie che caratterizzano questo modello possano essere applicate ad un ambito non strettamente urbano.

Muovendo da alcune questioni di partenza delineate nel Capitolo 3 e dalle criticità che riguardano la loro gestione attraverso le tecniche agronomiche e allevative attuali, si è poi svolta una *review* di alcune tecnologie "intelligenti" che sono già disponibili per la *Smart land* (Capitolo 4): tra queste si è posta attenzione al *remote sensing* da piattaforme aeree o satellitari, all'utilizzo di reti sensoristiche "diffuse" quali le *Wireless Sensor Networks*, all'impiego degli *Unmanned Vehicle* (veicoli senza pilota) o altri dispositivi mobili nonché all'utilizzo di sistemi di geolocalizzazione e tracciamento per gli animali, tutte soluzioni che in questi ultimi anni hanno avuto una notevole diffusione applicativa, quantomeno in contesti di ricerca e sperimentazione.

<sup>1</sup> AA. VV., 2014, Convegno "Agricoltura al bivio? Agroindustria, salute, rispetto dei territori"

<sup>2</sup> Puzone V., 2014, Agricoltura, quantità o qualità? Quale alimentazione nel prossimo futuro?

<sup>3</sup> Harvey F., 2014, Robot farmers are the future of agriculture, says government

<sup>4</sup> Picchio S., 2015, Approccio *down sensing* per l'osservazione del territorio: dal satellite al drone

Restando sul piano della sensoristica, è parso interessante tenere conto anche di altre tecnologie con notevoli potenzialità e che potrebbero portare ad una vera rivoluzione nel settore. Si è fatto riferimento, ad esempio, all'impiego sul campo dei *Laboratory-on-chip*, veri e propri micro-laboratori costruiti con nano-tecnologie e implementabili su di un singolo chip, o all'utilizzo degli *Electronic Noses*, altra tipologia di micro sensori impiegabili per la rilevazione della presenza dei composti organici volatili (VOC) nell'aria. Si tratta di dispositivi di grande interesse impiegabili, ad esempio, per l'analisi bio-chimica sul campo di piante e colture, in grado di ridurre la necessità dei complessi (e costosi) processi di analisi di laboratorio e di migliorare la capacità di interpretazione dei fenomeni. Questi nuovi strumenti andrebbero ad aggiungersi a quelli già disponibili di tipo più "tradizionale", offrendo agli operatori del settore dispositivi in grado di svolgere analisi molto più rapide e accurate rispetto a quanto possibile fino ad ora.<sup>5</sup> Si tratta in ogni caso di dispositivi che produrrebbero un notevole flusso informativo e che aprono la porta alla problematica della raccolta, gestione e interpretazione delle grandi quantità di dati, questione che interessa la materia della *sensoristica distribuita*<sup>6</sup> e che rientra nel tema dell'*Internet delle cose*,<sup>7</sup> aspetti affrontati nel Capitolo 5.

Nel Capitolo 6, partendo da alcuni progetti elaborati, o in fase di elaborazione, presso il Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse Naturali e Ambiente (DAFNAE) dell'Università agli Studi di Padova, come casi studio vengono descritti due progetti innovativi: il primo riguarda il dispositivo denominato *Fertimetro*, strumento in grado di misurare la fertilità dei suoli; l'altro, ancora in fase di sviluppo, punta alla realizzazione di una piattaforma multisensore distribuibile "in kit" e denominata *Sensuolo*, che consentirebbe l'analisi dei terreni al fine di determinarne il grado di biodiversità.

Per questi progetti (Capitolo 7) vengono proposti miglioramenti e l'integrazione con alcune delle tecnologie descritte precedentemente. In una prima fase le proposte migliorative riguardano gli aspetti trasmissivi delle informazioni prodotte da questi strumenti e il modo in cui i dati potrebbero essere raccolti; tale lavoro verrebbe svolto grazie all'utilizzo di un *mix* di tecnologie *wireless* a basso consumo energetico, insieme all'impiego di piattaforme mobili (droni), in grado di muoversi autonomamente e dotate di opportuni sistemi di ricezione e trasmissione che, sorvolando i sensori posti a livello del terreno, svolgerebbero il lavoro di raccolta dei dati immagazzinandoli a bordo o ritrasmettendoli a terra per la loro analisi.

In una seconda fase si è pensato di utilizzare la sensoristica "avanzata" descritta nel Capitolo 4 (ad esempio i *Laboratory-on-chip*) per poter svolgere delle operazioni più complesse: la proposta è quella di utilizzare sempre delle piattaforme mobili, dotate di una più alta capacità elaborativa, che sarebbero rese capaci di riconoscere automaticamente specie vegetali di diverso tipo, analizzandone poi lo stato di salute.

Sempre nel Capitolo 7 alcune delle tecnologie innovative descritte nel Capitolo 6 vengono applicate anche al campo dell'allevamento: partendo da alcune soluzioni sviluppate per il monitoraggio degli animali selvatici (radio collari, sistemi di geolocalizzazione, ecc.), si è valutato come questi sistemi potrebbero essere utilizzati anche in un sistema di monitoraggio degli spostamenti degli animali da

<sup>5</sup> Anderson C., 2014, Relatively cheap drones with advanced sensors and imaging capabilities are giving farmers new ways to increase yields and reduce crop damage

<sup>6</sup> *sensoristica distribuita*: insieme di sensori intelligenti collocati in vari luoghi e progettati per ottenere informazioni dall'osservazione del contesto ma anche in grado di confrontare e incrociare i dati raccolti

<sup>7</sup> con *Internet delle cose* ci si riferisce all'estensione di Internet al mondo degli oggetti e dei luoghi concreti; gli oggetti (le cose) si rendono riconoscibili grazie ad una diffusa rete sensoristica, potendo comunicare dati su se stessi o accedendo a informazioni prodotte da altri; cfr. Nota 417

pascolo che si basa, anche in questo caso, su piattaforme mobili in grado di svolgere una serie di operazioni in maniera del tutto autonoma. In questa prospettiva la capacità elaborativa richiesta a questi sistemi deve essere elevata, soprattutto se tra le caratteristiche vi deve essere quella dell'autonomia operativa. Oltre a questo aspetto, per i due temi sviluppati, l'innovazione della proposta riguarda la metodologia di impiego dei sistemi che avviene secondo un approccio definibile come *integrato*: lo sforzo è quello di immaginare come la sensoristica può integrarsi con altri dispositivi ed essere quindi parte di un complesso processo di acquisizione / analisi / interpretazione delle informazioni.

Nel Capitolo 8 infine si cerca di comprendere se queste idee possono essere utilizzate in ambiti geografici estesi, facendo riferimento al Sud America come ad un possibile contesto applicativo. A questo proposito un viaggio in Brasile, paese dalle enormi potenzialità economiche ma anche dalle grandi criticità ambientali, ha permesso di verificare in quel contesto il grado di sensibilità nei confronti di queste questioni. La visita a diverse realtà brasiliane che si occupano di ricerca ha dimostrato non solo la presenza in quel paese di una attiva e dinamica rete tecnico-scientifica, all'avanguardia su molte delle tematiche che riguardano la sperimentazione e l'applicazione delle nuove tecnologie all'agricoltura e dell'allevamento, ma anche che vi è stata una grande sensibilità proprio nei confronti delle idee progettuali illustrate in questo lavoro.

## 2.1. Dalla Smart city alla Smart land: paradigmi a confronto

*"Anni di dibattiti sul tema delle Smart cities, sui dispositivi di temporistica dei semafori o di pagamento dei parcheggi che renderebbero più o meno intelligente una città, hanno offuscato il significato di una rivoluzione tecnologica, ma soprattutto economica e sociale, che sta cambiando la configurazione stessa dei territori"*. Così esordiscono Bonomi e Masiero in una loro recente pubblicazione.<sup>8</sup>

In effetti, nell'elaborazione di questo concetto, il soggetto "città" ma soprattutto l'idea di una *città digitale* ha finito per monopolizzare la discussione; è anche pur vero che l'aggettivo *smart* è stato nel frattempo utilizzato anche nei campi più vari, ad esempio a quello ambientale o ai temi della sostenibilità ma anche sociali. Permane comunque l'impressione, soprattutto quando il compito di tradurre in pratica questa "visione" è stato intrapreso dalle pubbliche amministrazioni, che la città abbia mantenuto una forte centralità e la *land*, la campagna o meglio il territorio, non abbia ancora ricevuto la giusta attenzione.

Ovviamente questo non significa che fra i due soggetti vi debba essere una netta contrapposizione, ma semplicemente che manca una giusta prospettiva che tenga insieme *Smart city* e *Smart land* in maniera dialettica nella costruzione di una definizione di territorio che sia più ampia e comprensiva (**Figura 1**).

---

<sup>8</sup> Bonomi A., Masiero R., 2014, Dalla smart city alla smart land

È necessario inquadrare il contesto culturale e sociale nel quale si viene ad operare. Ci muoviamo in un paese, non solo il nostro, che fino alla recente crisi economica (e probabilmente anche ora) sembrava sorretto da una logica di espansione economica (e poi territoriale) senza limiti, che ha finito per dilapidare il cosiddetto *capitale sociale* dei territori, spogliati sempre più dei loro valori comunitari, relegandoli ad avere un ruolo per lo più simbolico, giusto per costruirci sopra qualche sagra di paese;<sup>9</sup> la progressiva trasformazione degli spazi poi, da un utilizzo collettivo ad un uso prevalentemente privato, ha finito per svuotare nel significato il concetto stesso di territorio.

Questo ha portato ad un progressivo cambiamento dell'idea convenzionale di una città tradizionalmente organizzata intorno al concetto "centro-periferia": la periferia non esiste più come spazio omogeneo, così come il centro d'altronde, ma sono stati entrambi trasformati in spazi frammentati, compenetrati ma sostanzialmente separati.<sup>10</sup>

Ne è testimone in questo senso anche l'organizzazione economica della società che in questi ultimi decenni è stata costruita attorno al cosiddetto *capitalismo molecolare* o di tipo *diffuso*,<sup>11</sup> che si è sostituito al più tradizionale capitalismo novecentesco che ha dato origine ai grandi centri urbani e industriali del secolo scorso; quello a cui si è assistito è il profondo cambiamento di un contesto che è avvenuto in conseguenza della crisi economica, o meglio, dalla crisi dell'economia tradizionale basata su di un'idea di rigida suddivisione del lavoro di tipo *fordista*.<sup>12</sup> Questo, di conseguenza, ha portato al progressivo sfilacciarsi anche dell'idea di una divisione netta degli ambiti geografici a cui si faceva riferimento: la periferia in contrapposizione al centro, la città in opposizione alla campagna. Su tutto questo si va ad inserire un nuovo modo di fare economia, con l'avvento della *Smart economy* che ha nell'*idea olivettiana* di industria - impresa - società il suo modello antesignano e nella *Green economy* la sua più attuale applicazione.<sup>13</sup>

Ma non si tratta solo di una questione di *intelligenza* o di *pollici più o meno verdi*: l'economia è naturalmente destinata a cambiare nel tempo ma, perchè vi sia un reale mutamento qualitativo, prima di essa devono cambiare le basi sulle quali poggia, rendendola non solo più *smart* ma anche più etica e ovviamente anche più umana.



**Figura 1:** dalla *Smart city* alla *Smart land*; il trasferimento delle esperienze dalla prima alla seconda è possibile?  
(fonte: Mudchute City Farm)

<sup>9</sup> Secchi B., 2013, La città dei ricchi e la città dei poveri

<sup>10</sup> Bonomi A., Masiero R., 2014, *op. cit.*

<sup>11</sup> Bonomi A., 1997, Il capitalismo molecolare. La società al lavoro nel Nord Italia

<sup>12</sup> Bonomi A., 2013, Il capitalismo in-finito. Indagine sui territori della crisi

<sup>13</sup> *ibidem*

Guardare alla *Smart city*, cercando di capire come questa possa poi trasformare i territori che la circondano in una *Smart land*, significa quindi anche pensare ad un nuovo modello di società, che sia differente da quella post-moderna, che inevitabilmente deve fare i conti con un modo diverso di fare economia e che necessariamente deve correre lontano da quanto finora si è invece affannosamente rincorso. E' opinione di chi scrive che la questione centrale non è se il modello economico debba per forza essere verde, giallo o grigio: deve essere prima di tutto etico e sostenibile e, ovviamente, non diventare il pretesto per la creazione di una ennesima bolla speculativa di un *turbo capitalismo finanziario dal respiro corto*, così come efficacemente rappresentato da chi ha analizzato questi fenomeni.<sup>14</sup>

Se poi si vuole che il modello di riferimento sia comunque *green*, questo dovrebbe comunque essere anche *circolare* cercando di mettere insieme il benessere e la *resilienza degli ecosistemi* con l'efficienza nella produzione,<sup>15</sup> il consumo e la rigenerazione delle risorse (**Figura 2**).<sup>16</sup> Ma il modello o i modelli di riferimento devono essere anche sociali e quindi più che di *Green economy* sarebbe più corretto parlare di *Green society* nel senso che è alla società nel suo complesso che si deve guardare e non solo verso quei pochi che ora possono permettersi, ad esempio, l'auto elettrica; è su questo tipo di società che si deve cercare di intervenire perchè è in essa che può essere trovata la "massa critica" in grado di cambiare realmente lo stato delle cose. Ma, in realtà, se proprio qualcosa deve essere verde è necessario che si parta dalla politica perchè è solo da una *Green politics* che può essere avviato un percorso di innovazione radicale da incorporarsi in un società inclusiva che presuppone investimenti collettivi e un nuovo equilibrio tra politica, economia e società.<sup>17</sup> Tutto questo purtroppo è proprio ciò che manca oggi, cioè la presenza di chiari indirizzi e dei conseguenti investimenti come quelli messi in moto nella stagione di politiche pubbliche che si sono viste in Italia alla fine degli anni '90; stagione "ideale", delle programmazioni, dei Grandi Piani ma anche dalla quale sono poi partite le grandi disillusioni dei decenni successivi e portatrice *in pectore* della più grande crisi economica dopo la *Grande Depressione* degli anni trenta.



**Figura 2:** la *circular green economy* come punto di partenza di un possibile modello economico di riferimento (fonte: European Commission)

<sup>14</sup> Bonomi A., Masiero R., 2014, *op. cit.*

<sup>15</sup> *resilienza di un ecosistema*: capacità di sistema ecologico di ritornare al suo stato iniziale dopo essere stato sottoposto ad una perturbazione dovuta a cause di origine antropica (inquinamento) o naturali (eventi atmosferici)

<sup>16</sup> Ronchi E., 2017, *Circular economy come pilastro di una green economy*

<sup>17</sup> *ibidem*

(pagina bianca)

### 3. LE QUESTIONI DI PARTENZA

Prima di affrontare gli aspetti progettuali di questo lavoro si è partiti da un inquadramento del sistema agricolo e rurale che per semplicità si è assunto essere quello della Regione del Veneto nel quale si sono evidenziati alcuni punti di forza e le debolezze. In questo capitolo vengono inquadrate e esaminate alcune questioni che si è ritenuto avere un'importanza rilevante; una di queste questioni riguarda il tema del suolo del quale se ne sono individuate le componenti fondamentali, se ne definisce il concetto di fertilità, vengono descritte le tecniche utilizzate nella sua analisi, si individuano i limiti delle analisi laboratoriali.

Un'altra questione di partenza riguarda invece la determinazione del benessere delle piante relativamente al quale si è cercato di determinare quali sono le principali cause di alcune patologie vegetali individuando, soprattutto visivamente, quali sono i loro effetti. Tutto questo ha permesso di definire un *vademecum* di riferimento per la successiva fase progettuale.

Un ultimo tema che è stato affrontato riguarda infine gli animali da pascolo relativamente ai quali si è cercato di comprendere quale è l'interazione e il loro rapporto con il territorio, l'importanza dell'attività di controllo e di monitoraggio delle mandrie e se è possibile determinare un loro modello di distribuzione geografica.

#### 3.1. Il sistema agricolo di riferimento

Rispetto alle altre nazioni europee in Italia si registra un notevole ritardo nell'utilizzo di processi innovativi in campo agricolo e nelle attività legate all'allevamento; si è inoltre rilevato che è poco significativa l'interazione tra gli addetti ai lavori e gli enti di ricerca.<sup>18</sup> Gli ultimi dati, derivati dal PSR 2007-2013, evidenziano che solo l'11% delle imprese agricole può dirsi innovativa perchè ha messo in atto alcune forme di collaborazione con il mondo della ricerca contro una media europea che va oltre il 24%.<sup>19</sup> Sempre riferendoci ai dati del medesimo PSR, la realtà delle Aziende che operano in Veneto e che fa uso di sistemi informatici in campo gestionale si ferma al 5% e solamente un 3% utilizza direttamente questi sistemi per la gestione delle operazioni colturali e degli allevamenti.

Parallelamente, analizzando il dato nazionale relativo all'età media degli imprenditori in campo agricolo, si evidenzia un aumento di chi ha meno di 40 anni anche se non è possibile parlare di un vero e proprio rinnovamento perchè questa fascia di età rappresenta comunque solo il 7% del totale.

In ogni caso, anche grazie agli interventi del PSR 2007-2013, emerge che più di 1.800 nuovi giovani agricoltori hanno fatto impresa nel settore; all'incirca l'89% di questi ha attuato investimenti aziendali a vario titolo e il 38% ha introdotto innovazioni di prodotto e di processo.<sup>20</sup> In Veneto operano oltre 340 cooperative attive nei settori lattiero caseari, vitivinicolo e dell'ortofrutta mentre tra i consorzi di

<sup>18</sup> Regione del Veneto, 2015, PSR - Piano di Sviluppo Rurale del Veneto 2014-2020

<sup>19</sup> *ibidem*

<sup>20</sup> *ibidem*

tutela DOP, IGP e DOC si registrano 69 organismi e tra le organizzazioni di produttori si annoverano 27 OP e 1 AOP che aggregano nell'insieme circa 6.700 produttori agricoli.<sup>21</sup>

Dai numeri sopra descritti si delinea quindi un sistema produttivo molto articolato che, almeno sulla carta, potrebbe rappresentare una base per la realizzazione di innovazione nel settore agricolo. Tuttavia da un'analisi condotta sugli investimenti nelle imprese è emerso che, nel triennio 2010-2012 in Veneto, solo una minima parte di esse ha operato verso questa direzione e le aspettative per il futuro non prevedono miglioramenti, nonostante siano state avviate attività di trasferimento tecnologico e azioni di politica rurale finalizzate all'innovazione e all'attuazione dei relativi progetti.<sup>22</sup> La ricerca ha messo in luce che sia le aziende di tipo "chiuso", operanti in circuiti proprietari, che quelle più "aperte", cioè che agiscono in maniera più collaborativa, sono poco propense ad aderire alle cosiddette *reti per l'innovazione*. Le motivazioni vanno ricercate su più fronti, ad esempio nella difficoltà di attivare meccanismi di cooperazione per l'innovazione a causa delle piccole dimensioni delle imprese, oltre che alla bassa consapevolezza dell'importanza del progresso tecnologico come leva di competitività, senza contare lo scarso collegamento delle imprese con chi fa ricerca.<sup>23</sup>

Se i dati dimostrano che le aziende agricole del Veneto crescono in competitività, di contro si evidenziano numerosi elementi di ritardo rispetto a come evolve la struttura tecnico-produttiva e economica delle imprese in altri contesti produttivi. A livello strutturale inoltre, è rilevabile come la crescita delle aziende di medie dimensioni è in realtà il risultato del forte diminuzione delle aziende di piccole dimensioni, la cui superficie è stata assorbita da aziende più grandi.<sup>24</sup> Alla luce di queste considerazioni appare chiaro come sia ancora più necessario intervenire in questo settore con strumenti nuovi e, ovviamente, portatori di innovazione.

### **3.2. La centralità dello studio dei suoli**

Come si è detto il suolo rappresenta un componente determinante in campo agricolo e per questo motivo viene considerato come una delle questioni di partenza. Il suolo è un ambiente "vivo" nel quale si sviluppano numerosi micro biomi molto diversi tra loro e che normalmente mettono in atto meccanismi di coesistenza; questo comporta vari gradi di interazione a livello biologico con conseguenti ripercussioni sulla fertilità del terreno che determina una serie di peculiarità proprie di ciascun ecosistema.<sup>25</sup> La salvaguardia di un andamento "armonico" delle attività tipiche all'interno di ciascun ecosistema risulta quindi essere essenziale per la crescita delle specie vegetali e determinante per la qualità dell'ambiente. A livello più generale, la biodiversità influisce sia sulla produttività che sulla stabilità degli ecosistemi; ne deriva che, ad esempio, in fase di progettazione di nuovi sistemi per la produzione e la raccolta di un prodotto vegetale, è di grande importanza tener conto di quale è il

---

<sup>21</sup> *ibidem*

<sup>22</sup> *Veneto Agricoltura*, 2012, L'innovazione nelle imprese agricole, usi nuovi della conoscenza

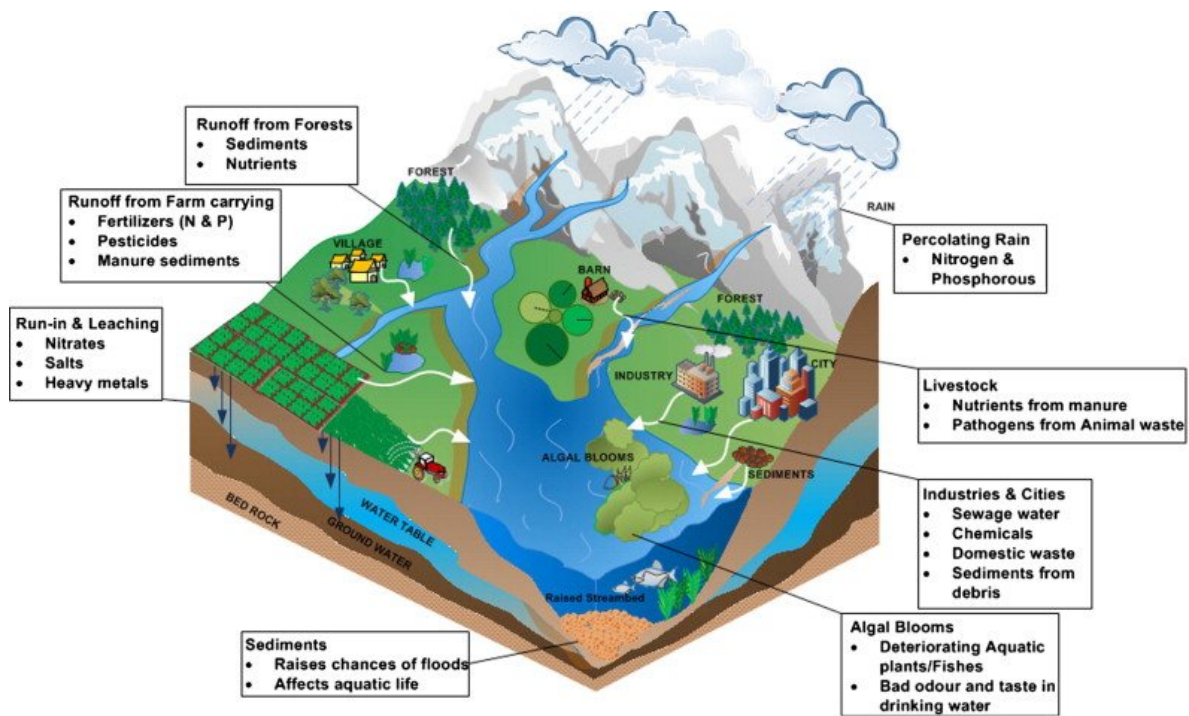
<sup>23</sup> *Regione del Veneto*, 2015, *op. cit.*

<sup>24</sup> *ibidem*

<sup>25</sup> *Lemanceau P. et al.*, 2014, Understanding and managing soil biodiversity: a major challenge in agroecology



fattore biodiversità e quali sono le funzioni biologiche.<sup>26</sup> I suoli possono essere soggetti, a vario livello, ad azioni di disturbo dette *impatti*, che non risultano essere sempre negative, anche se è evidente come la complessità delle attività umane produce effetti rilevanti spesso dannosi se non irreparabili.<sup>27</sup> Ad esempio, il cambio di utilizzo di un suolo da agricolo a prevalente uso edilizio o industriale comporta una lenta ma inesorabile degradazione dovuta a fenomeni erosivi cui si debbono aggiungere la sedimentazione di sostanze acide o l'inquinamento da metalli pesanti, effetti sempre derivanti da attività umane (**Figura 3**).



**Figura 3:** complessità degli impatti umani e naturali sull'ambiente terrestre  
(fonte: Zia H. et al., 2013, op. cit.)

I suoli pertanto rivestono un ruolo centrale nella definizione del concetto di *sostenibilità* e proprio per questo non dovrebbero essere considerati separatamente rispetto all'ecosistema a cui appartengono.<sup>28</sup> La funzione del suolo nel supportare diversi ecosistemi lo qualifica quindi come un "capitale naturale" da valorizzare e preservare; ne consegue che le complesse attività umane in campo agricolo e allevativo devono necessariamente coniugarsi con azioni di protezione e di sviluppo sostenibile.<sup>29</sup>

<sup>26</sup> Lemanceau P. et al., 2014, op. cit.

<sup>27</sup> Zia H. et al., 2013, The impact of agricultural activities on water quality

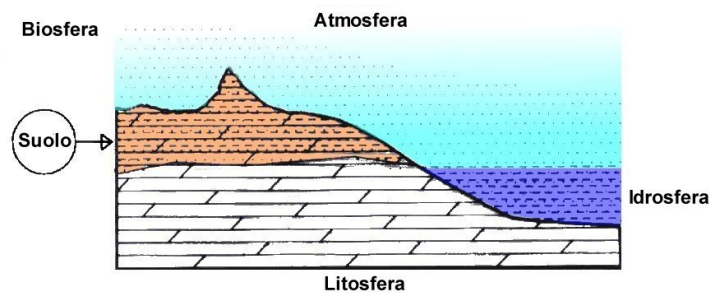
<sup>28</sup> Smith P. et al., 2015, Global change pressures on soils from land use and management

<sup>29</sup> *ibidem*

### 3.2.1. Funzioni e componenti del suolo

Il suolo si trova nell'*interfaccia* tra litosfera, idrosfera e atmosfera (**Figura 4**). Tra questi è il sistema che viene definito più *tamponato*, cioè in grado di modificare la concentrazione delle sostanze con cui è a contatto.<sup>30</sup> Si tratta di un sistema "aperto", formatosi per attività di numerosissimi processi fisici, chimici e biologici che, agendo contemporaneamente o in sequenza, hanno operato nel tempo sinergicamente o in opposizione.<sup>31</sup> Il suolo è un corpo naturale, in grado di sostenere la vita delle piante in quanto è costituito da particelle minerali ed organiche, formatesi dall'alterazione fisica e chimico fisica della roccia e dalla trasformazione biologica e biochimica dei residui organici.

Caratterizzato da una serie di meccanismi e processi di scambio interni e verso l'esterno, fornisce alle piante acqua, aria, elementi nutritivi, mentre dall'atmosfera le piante ricavano l'energia luminosa e l'anidride carbonica necessarie per la sintesi delle sostanze organiche (fotosintesi). Il suolo si forma naturalmente ad un tasso medio di 1 mm ogni 200-400 anni, ma il gradiente di deperimento di



**Figura 4:** inquadramento della componente suolo sulla superficie terrestre (fonte: *Astolfi S.*, 2014, *op. cit.*)

un terreno agricolo è da 10 a 40 volte più veloce rispetto all'indice di ripristino naturale. E' sottoposto a diversi usi, ad esempio per la produzione di cibo, per lo spazio vitale, il supporto alle infrastrutture o alla produzione industriale, che spesso entrano in competizione tra loro in virtù del poco spazio generalmente disponibile per svolgere tutte queste attività. Il suolo rappresenta quindi:<sup>32</sup>

- un mezzo di crescita per gli organismi viventi;
- lo strumento "regolatore" della parte liquida della biosfera;
- il luogo adatto alla campionatura e al monitoraggio ambientale.

Ha inoltre funzioni "produttive" visto che è il luogo di produzione di biomassa, dei prodotti alimentari, delle energie rinnovabili e delle materie prime; sotto il profilo chimico-fisico ha la capacità di filtrare, tamponare e trasformare, e di conseguenza svolge un ruolo fondamentale nell'equilibrio delle catene alimentari e delle biodiversità; ha anche un'importanza significativa nella difesa del patrimonio biologico, fornendo protezione a flora e fauna.<sup>33</sup>

<sup>30</sup> *Astolfi S.*, 2014, Corso in Biochimica dei suoli forestali e nutrizione delle piante

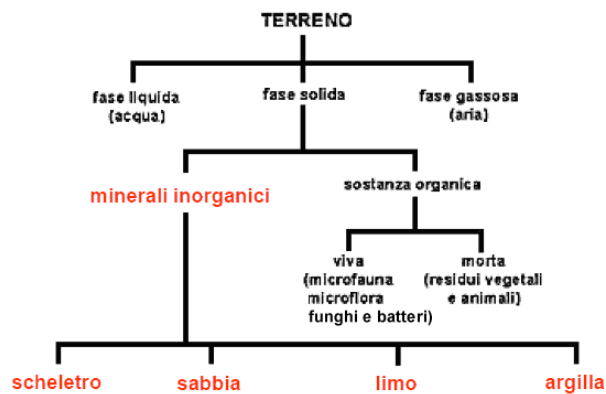
<sup>31</sup> *ibidem*

<sup>32</sup> *Doran J., Parkin T.*, 1994, Defining and assessing soil quality

<sup>33</sup> *ibidem*

Il suolo assume in se anche funzioni socio-economiche in quanto costituisce il supporto agli insediamenti umani costituiti dai manufatti abitativi, produttivi, dalle infrastrutture, ecc.; è inoltre utilizzato per lo smaltimento dei rifiuti. Svolge infine un ruolo di protezione e conservazione del patrimonio culturale, paleontologico e archeologico.

Il suolo è sostanzialmente caratterizzato da tre fasi: solida (suddivisa a sua volta in frazione minerale e organica), liquida e gassosa come descritto in maniera schematica in **Figura 5**. La fase solida è data dalla presenza di componenti inorganici rappresentati dai frammenti di rocce, dai minerali primari e secondari e da altri materiali amorfi, dai componenti organici costituiti dai residui vegetali e animali più o meno decomposti, dalla biomassa e dalle *sostanze umiche*<sup>34</sup> di neogenesi. La fase liquida è rappresentata dall'acqua in cui sono disciolte le sostanze inorganiche ed organiche e vi sono disperse, in sospensione, colloidali di varia natura. La fase gassosa infine, è costituita da una miscela di gas e vapori, di composizione analoga a quella dell'aria atmosferica, ma caratterizzata da un più elevato contenuto di vapore acqueo e di anidride carbonica.<sup>35</sup>



**Figura 5:** macro componenti dei terreni  
(fonte: Astolfi S., 2014, *op. cit.*, rielaborazione Autore)

### 3.2.2. Fertilità del suolo e fertilizzazione

Fin dall'inizio del '900 gli studiosi hanno cercato di utilizzare lo strumento dell'analisi fisica e chimica per conoscere meglio la qualità dei terreni, questione essenziale per migliorare la loro produttività. Quando poi nel secondo dopoguerra è andata affermandosi ovunque la pratica della fertilizzazione minerale queste analisi hanno acquisito un nuovo significato: i risultati di queste analisi, essendo indici della presenza di vari elementi e quindi della loro disponibilità per le piante, sono divenuti uno strumento importante per modulare l'apporto degli stessi fertilizzanti.<sup>36</sup>

Tuttavia, la scarsa diffusione di queste pratiche in Italia rispetto a molti altri paesi europei o americani, ha fatto sì che la tecnica della fertilizzazione si sia sviluppata considerando solo le specifiche esigenze legate alle colture:<sup>37</sup> infatti è abbastanza raro che vengano prese nella dovuta considerazione caratteristiche quali la *tessitura del terreno*<sup>38</sup> o messe in atto pratiche agronomiche che non siano strettamente legate alla concimazione come, ad esempio, il drenaggio o altro. In altri paesi europei

<sup>34</sup> *sostanze umiche*: componenti dell'humus del terreno che hanno la proprietà di stimolare l'attività microbica nel suolo

<sup>35</sup> Astolfi S., 2014, *op. cit.*

<sup>36</sup> Giandon P., Bortolami P., 2007, L'interpretazione delle analisi del terreno

<sup>37</sup> *ibidem*

<sup>38</sup> *tessitura del terreno*: proprietà fisica che identifica un terreno in base alla composizione percentuale delle particelle solide che ne determinano le proprietà fisiche e chimiche

come Olanda, Francia o Germania questo non è avvenuto e la messa a punto delle tecniche di fertilizzazione è sempre stata conseguente ad analisi e valutazione di tipo "complessivo".<sup>39</sup>

Nel nostro paese invece, è solo a partire dalla fine degli anni '80 del secolo scorso che si è incominciato ad utilizzare le analisi del terreno per definire i corretti protocolli di concimazione; questa pratica si è diffusa prevalentemente al nord, grazie soprattutto all'impulso dei laboratori di alcune aziende produttrici di fertilizzanti (**Figura 6**).

E' solo successivamente che, grazie ad una crescente consapevolezza ambientale, anche alcune strutture pubbliche di laboratorio e le associazioni di produttori hanno iniziato ad interessarsi all'interpretazione dell'analisi del terreno con lo scopo di razionalizzare le concimazioni ed evitare eccessi nell'apporto di nutrienti nei suoli; problematiche aggravate anche dall'atteggiamento delle aziende zootecniche che solo raramente integrano i fertilizzanti minerali con i materiali organici prodotti in loco, ritenendo le deiezioni degli animali solo un sottoprodotto e sottostimando quindi, o non considerando in maniera adeguata i benefici che deriverebbero da un loro utilizzo concreto.<sup>40</sup>

Proprio per questo si rende invece sempre più necessario, anche ai fini dell'applicazione della cosiddetta Direttiva Nitrati,<sup>41</sup> che proprio le aziende agricole, soprattutto quelle zootecniche, prendano coscienza del valore di quanto prodotto dai loro animali; una loro corretta gestione ha non solo evidenti ricadute ambientali ma consente inoltre notevoli risparmi sull'acquisto dei fertilizzanti minerali.<sup>42</sup>

Negli ultimi anni quindi, sotto il profilo della protezione ambientale, l'attenzione riservata al suolo in relazione alla conservazione e alla funzionalità degli ecosistemi è andata sempre più crescendo. E' per questo che gli operatori del settore chiedono un miglioramento continuo degli strumenti che ne permettano una conoscenza migliore; in questo senso l'analisi chimico-fisica rappresenta un esempio che va verso questa direzione.

### 3.2.3. Il campionamento e scelta dei parametri

Il campionamento è la fase più delicata di tutto il processo di analisi di un terreno: infatti può essere eseguito nel modo più preciso e accurato possibile ma, se il campione portato in laboratorio non è



**Figura 6:** l'importanza dell'analisi chimico-fisica dovrebbe essere centrale nella determinazione del grado di fertilità di un terreno (fonte: LaboConsult srl)

<sup>39</sup> Giandon P., Bortolami P., 2007, *op. cit.*

<sup>40</sup> *ibidem*

<sup>41</sup> Consiglio delle Comunità Europee, 1991, Direttiva 91/676/CEE: la Direttiva mira a prevenire l'inquinamento delle acque sotterranee e superficiali provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole e favorendo l'uso di corrette pratiche ambientali

<sup>42</sup> Giandon P., Bortolami P., 2007, *op. cit.*

rappresentativo di tutto l'appezzamento di terreno di cui vogliamo conoscere le caratteristiche, è evidente che i risultati delle analisi possono portare a scelte sbagliate.<sup>43</sup>

Presso i tecnici del settore è ampiamente diffusa l'opinione che l'errore commesso nella fase di analisi laboratoriale sia relativamente alto; in realtà l'errore maggiore è dovuto proprio al campionamento in quanto esso raggiunge mediamente una percentuale di errore sull'80-85% del totale, mentre la percentuale di errori compiuti in laboratorio è solo del 15-20%. Quindi la precisione del risultato non si raggiunge ripetendo le analisi di laboratorio ma prestando particolare attenzione e accuratezza alle modalità di prelievo dei campioni (**Figura 7**). E' per questa ragione che vanno rispettati precisi criteri riguardo il processo di campionamento, sulla loro distribuzione nonché sull'epoca e la profondità di prelievo oltre che sulle condizioni di conservazione soprattutto quando, allo scopo di verificare eventuali cambiamenti delle caratteristiche di un terreno, si rende necessario ripetere prelievi e analisi in tempi successivi.<sup>44</sup>



**Figura 7:** l'interpretazione di un terreno parte sempre dal suo campionamento, pratica che talvolta viene sottovalutata (fonte: Pioneer Hi-Bred Italia )

Particolare attenzione inoltre deve essere posta nella registrazione della localizzazione dei campioni elementari, nella procedura utilizzata per la costituzione del campione *composito*, nell'eventuale esclusione di zone anomale, nelle attrezzature utilizzate, ecc.<sup>45</sup>

### **Individuazione dell'area da campionare e numero dei campioni**

Quando si procede alla campionatura di una certa area di suolo è fondamentale che questa sia omogenea sotto vari aspetti: deve essere infatti soggetta alle stesse pratiche agronomiche (fertilizzazione, irrigazione, ecc.) e le colture o le varie successioni colturali devono essere uniformi per tipo e profondità delle lavorazioni. Inoltre l'area interessata al campionamento deve avere una superficie limitata (meno di 2 ettari).<sup>46</sup> Nel caso in cui vengano evidenziate aree che differiscono tra loro per qualche caratteristica del terreno come tessitura, drenaggio, pendenza, esposizione, ecc., tali zone vanno eliminate dal campionamento ed eventualmente analizzate a parte. Allo stesso modo sono da evitare le aree che delimitano l'area presa in esame e che si trovano a meno di 5 metri da fossi, cumuli e altre zone rimaneggiate.

Come criterio generale, per quanto riguarda la tecnica di campionamento, va precisato che questa deve essere sufficiente a rappresentare la *variabilità* intrinseca del terreno rispetto a determinate caratteristiche.<sup>47</sup>

<sup>43</sup> Giandon P., Bortolami P., 2007, *op. cit.*

<sup>44</sup> *ibidem*

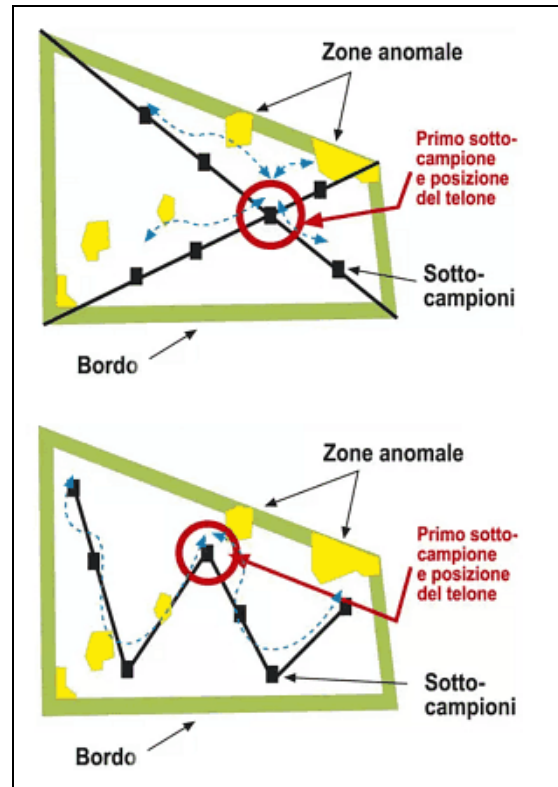
<sup>45</sup> *ibidem*

<sup>46</sup> *ibidem*

<sup>47</sup> *ibidem*

La variabilità naturale del suolo cambia a seconda dei fattori che vengono presi in considerazione, ad esempio è maggiore in terreni a basso *scambio cationico*,<sup>48</sup> rispetto a terreni nei quali questo valore è medio - alto tanto che, per stimare le caratteristiche chimico-fisiche generali, servirebbe un numero più elevato di campioni elementari per ettaro in suoli di questo ultimo tipo.<sup>49</sup> Per determinare invece alcune sostanze particolari, ad esempio il fosforo assimilabile, è necessario un numero di campioni più elevato. In definitiva si consiglia il prelievo di un campione elementare ogni 1.000 mq circa nel caso di terreni ad elevata variabilità, riducibili del 30% circa per suoli più omogenei.<sup>50</sup>

La localizzazione dei campioni elementari deve essere la più casuale possibile e può essere individuata lungo un qualsiasi percorso sul terreno a forma di X, W, S o altro che permetta di interessare tutta la superficie dell'area da campionare (**Figura 8**). L'attrezzatura utilizzata per i prelievi deve consentire il prelievo di un piccolo campione di eguale volume in ogni punto prescelto, in modo che tutti i campioni raccolti concorrano a formare il campione finale nello stesso modo; l'attrezzatura deve essere di facile pulizia, per evitare contaminazioni fra campioni e adattabile a diverse condizioni di granulometria ed umidità.<sup>51</sup>



**Figura 8:** esempio di come dovrebbe essere svolto il campionamento su un terreno agricolo (fonte: Pioneer Hi-Bred Italia)

### Preparazione del campione per il laboratorio e parametri analizzati

Per stabilire la profondità migliore a cui eseguire i prelievi è necessario considerare il tipo di coltura in atto e le lavorazioni che devono essere eseguite: ad esempio, per un prato stabile o per un prato di graminacee ci si può limitare ai primi 5-15 cm, per un prato di leguminose si dovrà approfondire il prelievo fino a 30-50 cm a seconda della profondità di aratura, così come per le altre colture quali cereali, soia, bietola.<sup>52</sup>

Per le colture arboree il prelievo va effettuato nello strato di terreno maggiormente interessato dalle radici delle piante (20-60 cm); in ogni caso i primi 5 cm superficiali vanno necessariamente scartati. Per evitare l'influenza della fertilizzazione sui risultati dell'analisi è necessario far passare almeno tre mesi dall'ultima concimazione prima di eseguire il prelievo, per cui risulta più pratico il campionamento dopo la fase di raccolta. Il campione da consegnare al laboratorio viene preparato mescolando accuratamente i campioni elementari dopo aver sminuzzato le zolle e i grumi.<sup>53</sup>

<sup>48</sup> la *capacità di scambio cationico* (CSC) rappresenta uno dei principali meccanismi con cui il terreno mette a disposizione delle piante elementi come calcio, magnesio, potassio, azoto; è quindi un indice della potenziale fertilità chimica di un terreno

<sup>49</sup> Giandon P., Bortolami P., 2007, *op. cit.*

<sup>50</sup> *ibidem*

<sup>51</sup> *ibidem*

<sup>52</sup> *ibidem*

<sup>53</sup> *ibidem*

Il campione definitivo deve avere un peso compreso tra 1 e 2 kg e può essere consegnato "fresco", con il suo naturale contenuto di umidità, o secco, previa essiccazione a temperatura ambiente lontano da polveri o altre sostanze che possano inquinarlo e compromettere i risultati. Particolari analisi devono essere eseguite sul campione umido e richiedono la consegna del campione conservato a temperature inferiori a 4°C e in tempi brevissimi.<sup>54</sup>

Quando si richiede l'analisi di un terreno a fini agronomici, è consigliabile indicare i parametri ritenuti più utili alla definizione di fertilità ed alla formulazione dei consigli per la concimazione. Una volta che è stata eseguita l'analisi completa non è necessario ripeterla a breve termine dato che le caratteristiche fondamentali variano molto lentamente; sarà sufficiente ripetere l'analisi del fosforo assimilabile e degli elementi scambiabili o dei microelementi a distanza di 3-5 anni.<sup>55</sup>

### **Limiti e criticità dell'analisi laboratoriale**

Preparare i campioni di un terreno da analizzare in laboratorio è un'operazione complessa che presenta alcuni passaggi operativi non derogabili che implicano:<sup>56</sup>

- la necessità che l'analisi avvenga con un buon anticipo rispetto alla semina o al trapianto (almeno due mesi prima);
- vi sia una previsione di ulteriori analisi di verifica nel corso del ciclo colturale;
- la necessità che il prelievo avvenga nel periodo in cui l'appezzamento è a riposo o comunque prima di effettuare le concimazioni;
- che vi sia un anticipo dei tempi di consegna dei campioni da analizzare rispetto al momento di utilizzo dei dati ottenuti, dato che un'analisi del terreno ha bisogno da 1 a 2 mesi per essere effettuata;
- la necessità di controlli di qualità (*ring test*) da parte dei laboratori;
- che la raccolta di numerosi sottocampioni sia in grado di descrivere la situazione media del campo preso in esame, comprendendo tutte le zone del terreno;
- che vi sia una corretta conservazione dei campioni di terreno prelevati.

Appare evidente che dovendo seguire le metodologie finora descritte, al fine di assicurare l'attendibilità e la significatività del dato rilevato, si devono osservare una serie di procedure rigide e articolate. Si ritiene che questo rappresenti senz'altro un limite nel caso vi sia la necessità di fornire una valutazione di tipo *speditiva* dei fenomeni agronomici, limite importante che, come vedremo nei capitoli successivi, può però aprire le porte alle tecnologie capaci di svolgere il lavoro di analisi sui terreni in tempi rapidi e direttamente sul campo.

## **3.3. Il benessere delle piante**

Cosa determina il benessere di un organismo? In questo paragrafo si propone di definire un *vademecum*<sup>57</sup> nel quale verrà esaminato il ruolo degli agenti fisici, biologici e chimici che influenzano

<sup>54</sup> Giandon P., Bortolami P., 2007, *op. cit.*

<sup>55</sup> *ibidem*

<sup>56</sup> *cfr.* la voce Pioneer Hi-Bred Italia, Guida rapida al campionamento dei terreni in SITOGRAFIA

il benessere delle piante al fine di comprendere come questi fattori potrebbero essere presi in considerazione nella realizzazione di un sistema in grado di riconoscere automaticamente alcune patologie vegetali.

### **3.3.1. I problemi abiotici nelle piante**

Le piante possono essere danneggiate da funghi, batteri, virus e nematodi, fattori che possono rientrare tra le cause di tipo biotico;<sup>58</sup> possono essere anche colpite da fattori non infettivi che rientrano nella definizione delle cause di tipo abiotico. Tra questa tipologia rientrano le proprietà del suolo non adatto ad una certa coltura, gli squilibri nella fertilità, l'eccessiva umidità, le temperature elevate, la tossicità chimica e altri problemi che possono ridurre o compromettere la loro salute. Le malattie che derivano dai problemi abiotici delle piante possono essere equiparate alle malattie non infettive dell'uomo, cioè a quelle non trasmissibili<sup>59</sup>. Queste sono molto comuni: circa la metà dei vegetali che presentano segni di "sofferenza" è caratterizzata da problemi di tipo abiotico<sup>60</sup> ed è su questo aspetto, anche per una questione di semplicità rispetto alle più complesse patologie di tipo biotico, che ci si concentrerà.

### **3.3.2. Fattori del suolo, proprietà fisiche e pH**

#### **Struttura del suolo**

Un primo fattore che condiziona la corretta crescita di un vegetale è la struttura del suolo: da questo deriva la capacità di assorbimento dell'acqua, dei nutrienti e dell'ossigeno che vengono poi resi disponibili per le piante. Il problema più comune legato alla struttura del suolo è quello di una sua eccessiva compattezza che può tradursi in una inadeguata porosità alla crescita delle radici; ad esempio un terreno argilloso, costituito da particelle molto piccole che presentano naturalmente poco spazio tra loro, non permette un corretto sviluppo radicale a causa della ridotta granulometria che limita il livello di ossigeno disponibile.

#### **pH del suolo**

Il pH del suolo corrisponde alla misura dell'attività di ioni positivi di idrogeno in una porzione di terreno. Un'alta attività di ioni positivi di idrogeno è indicativa di un suolo acido, mentre una bassa concentrazione è indice di un suolo alcalino.<sup>61</sup>

---

<sup>57</sup> Kennelly M. et al., 2012, Introduction to abiotic disorders in plants

<sup>58</sup> nematodi: piccoli vermi che si annidano nelle radici delle piante limitandone lo sviluppo e la crescita

<sup>59</sup> Kennelly M. et al., 2012, op. cit.

<sup>60</sup> Costello L. et al., 2003, Abiotic disorders of landscape plants. A diagnostic guide

<sup>61</sup> Kennelly M. et al., 2012, op. cit.



Generalmente si ritiene che per l'accrescimento delle piante sia preferibile un leggero pH acido con intervallo tra 6 e 7; un terreno con pH al di fuori di questi valori può avere un effetto negativo sulla solubilità e dunque sulla disponibilità dei nutrienti delle piante anche se alcune specie riescono a vivere in condizioni di suolo o molto acido o molto alcalino. Il pH del suolo al di sotto di un valore di 5.5 si traduce generalmente in una scarsa disponibilità di calcio, di magnesio e fosforo e una maggiore solubilità di alluminio, ferro, e boro. Alti livelli di questi nutrienti possono indurre ad una tossicità sintomatica nelle piante che si dimostra attraverso il classico ingiallimento fogliare (**Figura 9**).<sup>62</sup>



**Figura 9:** la clorosi ferrica è comune in suoli con alti valori di pH e determina il tipico ingiallimento fogliare (fonte: *Kennelly M. et al.*, 2012)

### 3.3.3. Fertilità del suolo: eccessi e deficienze

#### Tossicità dei nutrienti e loro uso eccessivo

L'eccessivo livello di macronutrienti può essere causa di danni alle coltivazioni come nel caso degli effetti di un elevato impiego di fertilizzanti o concimi nelle serre dove vengono coltivate piante ornamentali;<sup>63</sup> ad esempio, un eccesso di azoto portano ad un caratteristico tono di colore verde scuro delle piante. Elevate percentuali di ammonio invece, situazione non rara nei terreni delle serre a causa della mancanza di microrganismi, sono causa di condizioni di tossicità.<sup>64</sup>

La presenza di micronutrienti tossici in quantità elevata, caratteristica della maggior parte dei sistemi di produzione agricola, provoca sintomi quali *clorosi*<sup>65</sup> o necrosi sui margini o sulle punte delle foglie (**Figura 10**); non è raro riscontrare anche altri segni visivi quali foglie macchiate o punteggiate.

Come già evidenziato precedentemente la tossicità di alcuni nutrienti è strettamente legata al pH del terreno che spesso si dimostra essere o troppo alto o troppo basso; ad esempio non è raro registrare danni causati da un eccesso di presenza di ferro e manganese nelle serre dove si pratica la floricoltura che richiede invece terreni con basso pH.<sup>66</sup>



**Figura 10:** evidenza della tossicità del boro con il caratteristico effetto di necrosi sui margini fogliari (fonte: *Kennelly M. et al.*, 2012)

<sup>62</sup> *ibidem*

<sup>63</sup> *Gibson J. et al.*, 2007, Nutrient deficiencies in bedding plants: a pictorial guide for identification and correction



<sup>64</sup> *ibidem*

<sup>65</sup> *clorosi*: ingiallimento delle parti verdi di una pianta per la graduale scomparsa della clorofilla dovuta a infezioni parassitarie o a carenza di sostanze nutrienti nel terreno

<sup>66</sup> *Kennelly M. et al.*, 2012, *op. cit*

## Mancanza di nutrienti

I danni alle piante causati da deficit di nutrienti sono generalmente dovuti alla loro assenza nel terreno. Spesso la loro scarsità non causa danni immediatamente riconoscibili e talvolta questi vengono confusi con sintomatologie di tipo biotico, ad esempio quelle prodotte dai virus;<sup>67</sup> in questo caso uno dei metodi per comprendere se i danni visibili sulle piante sono dovuti alla reale mancanza di nutrienti è procedere ad un'analisi per escludere la presenza di elementi patogeni. E' inoltre possibile, analizzando i tessuti delle piante, stabilire la concentrazione interna di nutrienti anche se questo non significa determinare la loro reale disponibilità nel terreno.<sup>68</sup> Un altro metodo di diagnosi è quello di comprendere come si distribuiscono gli indicatori di sofferenza sul corpo del vegetale grazie alla valutazione di come si distribuiscono i cosiddetti *nutrienti mobili*:<sup>69</sup> questi vengono spostati al bisogno sulla lunghezza della pianta e, genericamente, gli indicatori di eventuali deficit si verificano sulle parti più basse. Al contrario una concentrazione di sintomi sul *meristema*<sup>70</sup> della pianta evidenzia la carenza dei cosiddetti *nutrienti non mobili*.<sup>71</sup> Nella tabella che segue (**Tabella 1**) vengono schematicamente riassunti alcuni degli effetti più evidenti della mancanza di elementi nutritivi in alcune specie vegetali.

<p><b>Mancanza di azoto.</b> L'azoto è un elemento di vitale importanza per molti processi fisiologici. Si tratta di un elemento determinante per la produzione di clorofilla; le piante che mancano di azoto, come risultato di una ridotta produzione clorofilliana, hanno un tipico colore giallo pallido. Le piante deficitarie di questo elemento risultano inoltre bloccate nello sviluppo e mostrano uno scarso vigore.</p>	 <p><b>Figura 11:</b> effetto della mancanza di azoto su una foglia di Azalea</p>
<p><b>Mancanza di fosforo.</b> Il fosforo è utilizzato nelle piante per un certo numero di attività che includono la fotosintesi, il trasporto di energia ed è un importante componente del DNA. Questo elemento è inoltre importante per la produzione dei fiori e dei semi. Le piante con mancanza di fosforo manifestano problemi nella crescita evidenziando, ad esempio, debolezza negli steli, ecc.</p>	 <p><b>Figura 12:</b> mancanza di fosforo sulle foglie di pomodoro</p>

<sup>67</sup> Bennett W., 1993, Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants

<sup>68</sup> *ibidem*

<sup>69</sup> *nutrienti mobili*: elementi nutrienti (azoto, fosforo, potassio, magnesio, zinco) che la pianta può spostare da un tessuto all'altro quando vi è una loro carenza determinando una decadenza delle parti vecchie, ad esempio le foglie, a favore di quelle nuove

<sup>70</sup> *meristema*: zona di una pianta nella quale avviene l'accrescimento

<sup>71</sup> Bennett W., 1993, *op. cit.*

<p><b>Mancanza di ferro.</b> Si tratta di un elemento chiave nella produzione di clorofilla. Le piante con una carenza di ferro hanno foglie simili per forma e dimensioni a quelle delle piante normali, ma possono presentare fenomeni di clorosi necrotica; l'effetto evidente è un ingiallimento delle parti verdi della pianta con manifestazioni soprattutto sulle foglie che per questo sono soggette a caduta anticipata.</p>	 <p><b>Figura 13:</b> pianta della fragola che evidenzia una mancanza di ferro</p>
<p><b>Mancanza di potassio.</b> Il potassio gioca un ruolo chiave nella crescita regolare delle piante ed è importante anche per altri processi come la fotosintesi. La sua mancanza può essere relativamente acuta in alcuni vegetali che producono frutta per il ruolo che svolge nell'assicurare la qualità del prodotto. Effetti evidenti includono la necrosi sui margini delle foglie, foglie arricciate o di colore bruno e il presentarsi di clorosi necrotica.</p>	 <p><b>Figura 14:</b> la mancanza di potassio è evidente nella clorosi di alcune parti della foglia</p>
<p><b>Mancanza di calcio.</b> E' spesso riscontrabile nei vegetali che producono frutti e può essere un serio problema se avviene in terreni acidi. La mancanza di calcio nelle piante può essere determinata da un inadeguato livello di questo elemento nel terreno, ma anche essere il risultato di una scarsa traspirazione o di una oscillazione eccessiva nei livelli di umidità del suolo.</p>	 <p><b>Figura 15:</b> mancanza di calcio nei pomodori</p>
<p><b>Mancanza di magnesio.</b> Può capitare anche nei terreni alcalini, ma è per lo più tipica di suoli fortemente acidi o sabbiosi che non sono in grado di trattenere questo elemento. Il magnesio è un importante componente delle molecole di clorofilla ed determinante nella produzione della ATP.<sup>72</sup> Le piante che mancano di magnesio evidenziano clorosi necrotica e manifestano limiti nei processi di fotosintesi.</p>	 <p><b>Figura 16:</b> mancanza di magnesio nella pianta del tabacco</p>

**Tabella 1:** esempi degli effetti della mancanza di alcuni elementi su diverse colture  
(fonte Figure 11-16: *Kennelly M. et al., 2012, op. cit.*)

<sup>72</sup> ATP (Adenosina Trifosfato): è la molecola che fornisce l'energia necessaria per quasi tutte le forme di lavoro cellulare

## Il fattore acqua

L'acqua è un elemento essenziale per la crescita e la sopravvivenza delle piante, anche se la necessità di questo elemento può variare in base alle specie e all'ambiente. Sia la mancanza di acqua che il suo eccesso possono portare a seri problemi: se questi fenomeni perdurano per un breve periodo, ovvero poche ore, si parla di danno acuto, se invece questi durano giorni o settimane il danno può risultare cronico.

Le piante possono recuperare facilmente i danni di breve periodo ma se la durata di questi eventi è elevata, la probabilità di recupero diminuisce a causa degli effetti negativi sulla funzionalità globale del vegetale e sulla sua crescita. Una diagnosi immediata dei problemi causati dalla variazione dell'apporto di acqua, come riportato di seguito, può essere di difficile formulazione ma gli effetti sul medio / lungo periodo sono visivamente e facilmente verificabili.<sup>73</sup>



**Figura 17:** la mancanza d'acqua, anche per brevi periodi, è un problema che non deve essere sottovalutato (fonte: *Kennelly M. et al., 2012*)

## Mancanza di acqua

Un basso livello di acqua, o un suo accumulo eccessivo, possono causare nelle piante sintomi facilmente confondibili con danni derivanti da altri fattori, ad esempio quando avviene per la presenza eccessiva di sale o diserbanti; inoltre alcune malattie infettive provocano effetti molto simili all'avvizzimento dovuto alla mancanza di questo elemento.<sup>74</sup> Per questa ragione potrebbero rendersi



**Figura 18:** il colore delle punte delle foglie di questa pianta evidenziano che il vegetale presenta *stress* da siccità (fonte: *Kennelly M. et al., 2012*)

necessari test sulla composizione del terreno per escludere alte concentrazioni di sale o altri problemi legati alla eccessiva presenza di nutrienti che potrebbero essere le vere cause del disagio manifestato dall'organismo. Una scarsa quantità di acqua nelle piante può portare ad effetti sia di breve durata che cronici; la sua mancanza per un breve periodo può comportare effetti non gravi che si caratterizzano per la secchezza delle foglie o dei germogli (**Figura 17**). Questi sintomi possono essere temporanei o manifestarsi durante la parte più calda del giorno, quando la traspirazione fogliare è più intensa. Durante i periodi di scarsità cronica di acqua, lo *stress* sopportato dalle piante

può essere molto elevato: la crescita del vegetale pertanto potrebbe rallentare o non svolgersi affatto, le foglie giovani possono non svilupparsi completamente e il fogliame apparire di un colore anormale. In casi particolarmente acuti la necrosi della foglia può presentarsi anche su alberi decidui manifestandosi visivamente anche sugli aghi delle conifere (**Figura 18**).

<sup>73</sup> *Kennelly M. et al., 2012, op. cit*

<sup>74</sup> *ibidem*

## Quantitativi eccessivi di acqua

L'eccessiva umidità del terreno può causare una ridotta disponibilità di ossigeno per le radici che, di norma e se questo è ben areato, riescono ad assorbirlo direttamente dal suolo. Similmente a quanto avviene nelle situazioni di siccità, un sintomo indicativo di eccesso di acqua è quando la pianta mostra segni di avvizzimento. Analogamente a quanto avviene quando manca, anche l'eccesso di umidità nel terreno può manifestarsi in maniera acuta o cronica.<sup>75</sup> Durante i fenomeni acuti (ad esempio durante un allagamento) le radici non riescono a trovare adeguate quantità di ossigeno e le cellule possono indebolirsi fino alla morte: i sintomi di questo fenomeno includono un generale stato di scolorimento del vegetale, radici mollicce o fradice che possono risultare maggiormente sensibili all'aggressione degli agenti patogeni. Nel caso di questi eccessi d'acqua perdurino nel tempo, le piante appaiono rachitiche e i germogli sottosviluppati; nei casi più gravi possono svilupparsi forme di cancro emorragico sui gambi, le radici possono arrivare a formare una corona, la corteccia può dividersi e il legno scolorirsi e risultare intriso d'acqua. Nelle piante che crescono in terreni saturi d'acqua possono evidenziarsi edemi, vescicole e gonfiori sul lato inferiore delle foglie e nelle aree dove il terreno rimane acquitrinoso per lunghi periodi di tempo potrebbe verificarsi una produzione di gas di zolfo.<sup>76</sup>

## Temperatura estrema

Temperature eccessivamente alte o basse possono essere dannose per le piante e la loro capacità di sostenere questi estremi potrà dipendere dalle specie, dall'età, dalla durata dell'evento, dal periodo dell'anno o dall'interazione di altri fattori di *stress*.

È interessante notare che, a causa delle condizioni ambientali in cui vivono, le radici e la biomassa fuori terra possono avere diversi livelli di tolleranza allo *stress* termico: i germogli ad esempio sono sottoposti a temperature differenti con maggiore variabilità temporale, mentre le radici possono essere esposte a temperature estreme del terreno per periodi di tempo più lunghi.<sup>77</sup>

## Danni dovuti alle alte temperature

Alcune specie di piante possono essere più sensibili di altre alle temperature. I cambiamenti fisiologici più evidenti si manifestano nella variazione del colore o nella crescita. Nelle piante adattate ai climi più freddi ad esempio, possono esserci dei cambiamenti fisiologici in risposta a temperature eccessivamente alte; germogli e radici possono smettere di crescere se un'alta temperatura perdura per un certo periodo di tempo o potrebbero addirittura morire, come quando le piante di geranio sono esposte ad una temperatura superiore ai 35° e le nuove foglie cominciano a sbiancare o a tendere al colore bianco (Figura 19).

Se si associa l'alta temperatura ad un'eccessiva umidità del terreno sulle piante possono manifestarsi anche evidenti bruciate sui margini delle foglie, o la loro caduta prematura; nei casi più gravi il



**Figura 19:** effetto delle alte temperature estive sulla pianta del geranio (fonte: *Kennelly M. et al.*, 2012)

<sup>75</sup> *Kennelly M. et al.*, 2012, *op. cit*

<sup>76</sup> *ibidem*

<sup>77</sup> *ibidem*

vegetale può addirittura morire. Un altro effetto indiretto riguarda l'impollinazione che, durante i periodi nei quali si verificano temperature elevate, può risultare scarsa o essere interrotta.<sup>78</sup>

### Danni dovuti alle basse temperature

Gli effetti dovuti alle basse temperature derivano dal formarsi di cristalli di ghiaccio nelle cellule delle piante che danneggiano le membrane cellulari e i cosiddetti organelli.<sup>79</sup> Inoltre le basse temperature, analogamente a quanto avviene nel caso dell'acqua, possono essere causa di disidratazione. Molte piante native delle regioni tropicali possono essere gravemente danneggiate e persino morire se le basse temperature perdurano per un periodo di tempo sufficientemente lungo; alcune specie possono adattarsi meglio agli ambienti freddi e non subiscono danni fino a temperature prossime allo zero.

La gramigna ad esempio, si è adattata a vivere a sud degli Stati Uniti, ma entra in una sorta di letargo nelle zone più a nord e può anche morire se sottoposta a temperature invernali al di sotto dello zero (**Figura 20**).

I danni dovuti alle basse temperature possono variare da specie a specie e anche in funzione del periodo dell'anno.

I germogli sono la parte più sensibile di altre a questo fenomeno; se la temperatura scende al di sotto dello zero termico a primavera avanzata, questi possono essere gravemente danneggiati fino a morire. Temperature prossime allo zero danneggiano seriamente le parti di accrescimento delle piante che assumono così una caratteristica colorazione violacea nelle foglie, segno di probabile necrosi.<sup>80</sup> Anche le parti legnose delle piante possono risultare danneggiate: la corteccia si rompe, esponendo le fibre legnose, che rimangono essere esposte agli agenti patogeni o insetti. Purtroppo i danni causati dalle basse temperature possono essere confusi con altri fattori come, ad esempio, le malattie infettive delle radici, i danni dovuti alle sostanze chimiche o gli effetti dovuti all'esposizione del vegetale a gas nocivi.



**Figura 20:** effetto del freddo invernale su un manto erboso non autoctono (fonte: *Kennelly M. et al., 2012*)

### Danni chimici (fito tossicità)

Nella produzione e mantenimento delle piante si fa uso di un gran numero di sostanze quali erbicidi, insetticidi, fungicidi e regolatori della crescita. Tali sostanze vengono utilizzate per proteggerle dagli insetti nocivi o per migliorare il loro sviluppo; l'esposizione tuttavia a prodotti non appropriati, il loro impiego in dosi massicce o la loro miscelazione possono essere causa di seri problemi.<sup>81</sup>

<sup>78</sup> *Kennelly M. et al., 2012, op. cit*

<sup>79</sup> organelli: strutture presenti all'interno della cellula che svolgono differenti funzioni necessarie alla sua sopravvivenza

<sup>80</sup> *Kennelly M. et al., 2012, op. cit*

<sup>81</sup> *ibidem*

## Fungicidi e insetticidi

Mentre i fungicidi e insetticidi sono destinati alla protezione delle piante dalle malattie e dagli insetti, una loro dose inappropriata (in eccesso) o l'incompatibilità di questi prodotti quando applicati simultaneamente, possono portare a effetti tossici ben documentati:<sup>82</sup> l'applicazione di sostanze a base di rame (il classico verderame) causano un caratteristico color bronzo al tessuto delle foglie e la coltivazione di certe colture, come l'uva, sono particolarmente sensibili a questi prodotti (**Figura 21**). Anche la mescolanza di alcuni pesticidi può causare danni significativi, come ad esempio la combinazione del captano<sup>83</sup> e dello zolfo con certi oli, specialmente nella stagione calda.<sup>84</sup>



**Figura 21:** effetti di un eccesso di verderame (fonte: *Kennelly M. et al., 2012*)

## Regolatori della crescita delle piante

I regolatori della crescita delle piante (PGR) sono delle sostanze chimiche che spesso ne alterano la fisiologia condizionandone la fioritura, la lunghezza e la crescita delle radici. Vengono utilizzati nella produzione di molti tipi di colture,<sup>85</sup> ad esempio nella coltivazione di alcune piante da frutto, allo scopo di ridurre lo sviluppo vegetativo, per portare la frutta di pezzatura troppo piccola ad appropriati livelli dimensionali e per migliorarne la qualità. Nelle piante ornamentali si utilizzano inibitori basati su ormoni vegetali sotto forma di *spray* per le foglie o da spargere sul sostrato per ridurre l'allungamento dei germogli, rendendo le piante più forti, più compatte migliorandone la qualità. Nei tappeti erbosi gli inibitori dell'allungamento delle cellule sono usati per ridurre la frequenza del taglio, mentre quelli per la divisione cellulare sono utilizzati per ridurre la produzione di semenze.



**Figura 22:** esempio di clorosi temporanea in piante ornamentali dovuta all'utilizzo di PGR (fonte: *Kennelly M., 2012, op. cit.*)

Sfortunatamente i PGR possono avere anche diversi effetti negativi:<sup>86</sup> ad esempio, l'applicazione sulle foglie di queste sostanze nelle piante ornamentali può causare una clorosi temporanea (**Figura 22**). Se applicato in quantità sbagliata, o in determinate condizioni ambientali (illuminazione eccessiva o temperature troppo alte), le conseguenze possono essere gravi: decolorazione diffusa e persistente, crescita stentata o altri effetti. Anche i fungicidi possono avere effetti negativi sulla regolazione della crescita vegetale.

<sup>82</sup> *Bennett W., 1993, op. cit.*

<sup>83</sup> captano: fungicida organico usato nella coltivazione della frutta ma, tra le tante cose, ritenuto come un possibile cancerogeno

<sup>84</sup> *Bennett W., 1993, op. cit.*

<sup>85</sup> *Kennelly M. et al., 2012, op. cit.*

<sup>86</sup> *ibidem*

## Sali disgelanti

I sali disgelanti, usati per impedire la formazione del ghiaccio sulle strade o sui marciapiedi, possono causare seri danni alle piante che vivono in prossimità delle zone nelle quali si fa uso di questa sostanza (**Figura 23**). Il cloruro di sodio presente in questi sali, quando si scioglie in acqua, si separa in sodio e cloro e entrambi i componenti diventano tossici per le piante se impiegati in quantità elevate.<sup>87</sup> Il sodio inoltre contrasta la disponibilità di nutrienti inibendo le funzioni di scambio poste sulle radici: gli ioni dissociati del cloro vengono assorbiti dalle piante e si accumulano nelle foglie dove possono raggiungere livelli di alta tossicità. Il sale assorbe acqua e inoltre è in grado di cambiare il *potenziale osmotico*<sup>88</sup> della soluzione nel terreno, così che l'acqua rischia di uscire dalle radici invece che entrarvi.<sup>89</sup> La pianta quindi presenta visivamente un aspetto "bruciato", risultato dall'azione di questi fattori, generalmente dovuto alla presenza di cloro sulla lamina delle foglie, con la presenza di lesioni sui margini fogliari. Questi effetti sono solitamente riscontrabili in primavera, dopo lo scioglimento della neve.



**Figura 23:** esempio dell'effetto del sale disgelante su alcune piante ornamentali (fonte: Kennelly M., 2012)

## Inquinamento e gas dannosi

Un altro fattore abiotico in grado di causare gravi scompensi nelle piante è quello dovuto ai fattori inquinanti presenti nell'atmosfera.<sup>90</sup> Sono molteplici gli inquinanti gassosi che possono danneggiare i vegetali, incluso l'ozono e il diossido di zolfo. L'ozono si produce quando i prodotti della combustione dei veicoli a motore reagiscono con l'ossigeno e la luce solare; l'effetto di questo gas sulle piante è causa di punteggiature sulle foglie che possono degenerare in bruciate e necrosi (**Figura 24**). Un altro inquinante come l'etilene può generarsi in ambienti chiusi come le serre come sottoprodotto dell'incompleta combustione che avviene negli impianti di riscaldamento;<sup>91</sup> si tratta di un gas incolore e inodore, cosa che ne rende difficoltosa l'identificazione e la diagnosi.



**Figura 24:** danni dovuti all'ozono sulla pianta del tabacco (fonte: Kennelly M., 2012)

I sintomi da presenza di etilene sono vari e dipendono in parte dalla tipologia delle piante ospiti, dalla loro età, dalla concentrazione di questo gas e dalla durata dell'esposizione. Gli effetti possono prevedere l'arricciamento delle foglie, il mancato sviluppo dei fiori, steli distorti o contorti, ma anche l'arresto dello sviluppo della pianta. Questi sintomi possono essere facilmente scambiati per un'infezione o per le lesioni causate dagli erbicidi.<sup>92</sup>

<sup>87</sup> Kennelly M. et al., 2012, *op. cit*

<sup>88</sup> *potenziale osmotico*: forza di attrazione che ha una sostanza disciolta in un solvente (come l'acqua) nei confronti della soluzione che lo circonda

<sup>89</sup> Kennelly M. et al., 2012, *op. cit*

<sup>90</sup> Flagler R., 1998, *Recognition of Air Pollution Injury to Vegetation: A Pictorial Atlas*

<sup>91</sup> *ibidem*

<sup>92</sup> Kennelly M. et al., 2012, *op. cit*



### 3.3.4. Conclusioni

Ogni qualvolta si affronta la questione della salute delle piante è necessario svolgere una diagnosi accurata delle eventuali sintomatologie in quanto si tratta di problematiche che hanno importanti implicazioni.<sup>93</sup> Nella verifica dello stato di benessere di un vegetale, quando una pianta mostra sintomi di declino o di crescita anomala, dovrebbero essere prese in considerazione sia le cause di tipo biotico che quelle abiotiche secondo un approccio valutativo di tipo sistemico.

Tuttavia, come premesso e al fine di una semplificazione metodologica che nulla toglie al valore dimostrativo di questo lavoro, si è deciso di fare riferimento solo a fattori di tipo abiotico; a giustificazione di questa scelta inoltre, vi è il fatto che gli *stress* che derivano da queste cause spesso sono molto simili a quelli prodotti da malattie che derivano dagli agenti biologici. Infine, nelle colture e nelle piante ornamentali, sono proprio le patologie di origine abiotica che aprono la strada agli agenti patogeni caratteristici delle malattie biologiche.<sup>94</sup>

È per questo motivo che individuare gli effetti visivi prodotti dai disturbi abiotici descritti precedentemente, significa avere un buon indicatore dello stato di salute di un vegetale; in un processo di valutazione che ha come obiettivo la determinazione dello stato fitopatologico di una pianta, si dovrebbe svolgere un processo di analisi che permetta:<sup>95</sup>

- la corretta identificazione del vegetale, mettendolo in relazione con il clima, il tipo di suolo in cui vive e vari aspetti geomorfologici come, ad esempio, l'esposizione ai venti, alla loro direzione, ecc.;
- nel caso della presenza di patologie, se i sintomi perdurano nel tempo, di verificare se questi seguono schemi di diffusione "regolari" alla luce del fatto che le malattie di origine biologica tendono a seguire schemi di diffusione di tipo casuale;
- di verificare se il malessere interessa più specie vegetali visto che in questo caso è più probabile che vi siano in gioco problematiche di tipo abiotico;
- di verificare se non si trova in presenza anche di cause secondarie, spesso rivelatrici di malattie di tipo biologico;
- di stabilire con precisione lo stato nutrizionale della pianta;
- di determinare quando è stata svolta l'ultima analisi del terreno e quali sono stati i risultati;
- la verifica della natura dei suoli in riferimento all'irrigazione e al drenaggio dei terreni;
- di verificare se esiste uno storico dell'uso delle sostanze chimiche.

Nell'obiettivo di determinare il benessere di un organismo si tratta di una serie di fattori che devono e possono essere verificati, anche a priori. In questo lavoro di ricerca, nella logica di progettazione e realizzazione di un sistema in grado di riconoscere automaticamente se sono presenti alcune patologie vegetali, si cercherà di prendere in considerazione alcuni di questi aspetti, soprattutto quelli che mettono in gioco quelle caratteristiche ottiche e visuali (colore, forma, ecc.) che possono essere riconosciute dalle tecniche applicate alla visione artificiale che verranno descritte in seguito.

---

<sup>93</sup> Kennelly M. et al., 2012, *op. cit.*

<sup>94</sup> *ibidem*

<sup>95</sup> *ibidem*

### 3.4. Animali da pascolo e territorio

L'uomo ha iniziato ad addomesticare i primi ruminanti durante il periodo Neolitico, con ogni probabilità in quella parte del Mondo che è nota come la Mezzaluna fertile, dove ritrovamenti di insediamenti umani risalenti al X millennio a. C. mostrano la compresenza di umani e greggi di ovini nella stessa area.<sup>96</sup> In epoca successiva, all'incirca nel 6500 a. C., prove archeologiche testimoniano che gli uomini si dedicavano all'allevamento di bovini in vaste zone dell'attuale penisola ellenica.<sup>97</sup>

Nel corso della storia dell'umanità l'allevamento ha avuto un ruolo così importante che questa attività può considerarsi tra quelle che hanno contribuito a colonizzare il mondo abitato; ad oggi il 35% delle terre coltivabili sono occupate stabilmente da animali da pascolo ed è una delle cause di alterazione dell'ambiente, sia in relazione al fatto che l'allevamento ha determinato una notevole biodiversità animale, sia per essere uno dei fattori di diffusione delle erbe infestanti.<sup>98</sup> E' dimostrato infatti che la vegetazione infestante si diffonde maggiormente nelle zone ad alta presenza di animali da pascolo, in quanto questi ultimi diventano il veicolo della dispersione dei semi di queste piante che sono dannose per l'agricoltura.<sup>99</sup>

Nel corso dei secoli questioni come l'aumento di terre aride, la distruzione delle foreste, la diffusione delle erbe infestanti, il depauperamento e l'erosione dei suoli fino alla modifica stessa del paesaggio sono tutti fattori imputabili ad una gestione non corretta delle aree interessate all'allevamento di questi animali.<sup>100</sup> Lo sfruttamento di intere regioni dell'emisfero occidentale per questa attività non solo ha mostrato impatti rilevanti sotto il profilo ambientale e paesaggistico, ma anche ripercussioni negative sotto il profilo economico. Inoltre l'utilizzo di aree sempre più vaste da dedicare all'allevamento ha giocato nel tempo un ruolo significativo nella progressiva riduzione delle zone riservate alla fauna selvatica.<sup>101</sup> Per questa serie di motivi una gestione più accurata e integrata dell'attività di allevamento degli animali da pascolo ricopre un ruolo importante nello sviluppo di qualsiasi sistema che voglia essere ecologicamente e socialmente compatibile.



**Figura 25:** greggi al pascolo (fonte: Associazione Coldiretti)

<sup>96</sup> Vavra M., Ganskopp D., 1998, Grazing behavior in ungulates: current concepts and future challenges

<sup>97</sup> Fitzhugh H. et al., 1978, The role of ruminants in support of man

<sup>98</sup> Belsky J., Gelbard J., 2000, Livestock grazing and weed invasions in the arid west

<sup>99</sup> *ibidem*

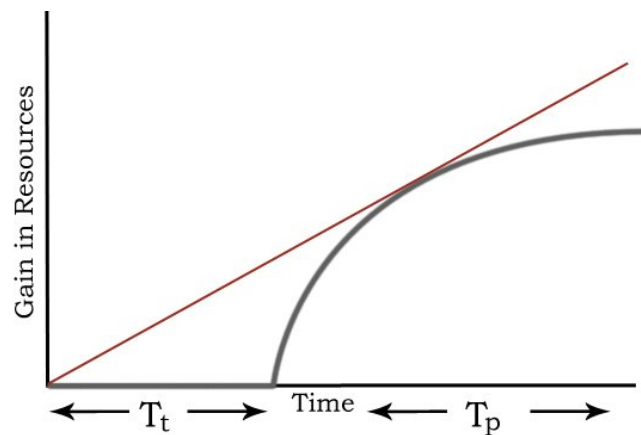
<sup>100</sup> *ibidem*

<sup>101</sup> Vavra M., Ganskopp D., 1998, *op. cit.*

### 3.4.1. Stato attuale

In linea generale il comportamento degli animali da pascolo è naturalmente legato alla ricerca di cibo disponibile sul territorio con il rischio, se la dimensione delle mandrie non è dimensionata alle risorse alimentari disponibili, che questo possa essere sottoposto a processi di depauperamento e inaridimento. Questi animali inoltre, svolgono un'azione di selezione continua rispetto alle specie vegetali in quanto, insediandosi in un'area, tendono a prediligere una specifica comunità di piante, o un particolare vegetale, o una sua parte.<sup>102</sup> Quindi il rapporto tra pascolo, terreno e piante che vi crescono è caratterizzato da meccanismi di retroazione che non solo si ripercuotono sugli animali e sul loro comportamento, ma che determinano inoltre il benessere della flora e dello stato del suolo fino al punto da influenzare l'assetto idrogeologico complessivo di una specifica area.<sup>103</sup>

L'osservazione e la descrizione del comportamento degli animali da pascolo, al di là dei principi generali appena illustrati, non consente comunque l'individuazione di una teoria unica che aiuti a comprendere se gli animali adottino un principio selettivo riconosciuto universalmente. La tesi comunemente accettata è quella del cosiddetto *foraggiamento ottimale*, una teoria che afferma che la selezione naturale favorisce gli animali che nella ricerca del cibo sanno adottare la soluzione che presenta il miglior rapporto tra costi e benefici. Facendo riferimento alla **Figura 26**, la quan-



**Figura 26:** rappresentazione della teoria de foraggiamento ottimale (fonte: Veterinarian Science UK)

tità di tempo *ottimale* spesa, ad esempio, in un pascolo è quando la curva delle risorse effettivamente consumate (linea curva grigia) è tangente alla linea retta rossa che rappresenta il rapporto ideale tra variabile risorse ottenute (benefici) e tempo speso per ottenerle (costi). Al decrescere di questi benefici risulta più vantaggioso per l'animale cambiare luogo di pascolo presupponendo che gli animali cerchino di minimizzare l'energia spesa massimizzando l'energia acquisita grazie al foraggiamento.

L'utilità di questa teoria è che permette di prevedere la quantità di cibo che gli animali potrebbero consumare in un determinato periodo di tempo;<sup>104</sup> tuttavia se è vero che questa strategia di ottimizzazione viene spesso adottata dal bestiame o anche dalla fauna selvatica, questo non è dimostrato che avvenga per tutte le specie soprattutto quando non è possibile prevedere la precisa composizione della loro dieta giornaliera.<sup>105</sup>

<sup>102</sup> Stuth J., 1991, Foraging behavior: an ecological perspective

<sup>103</sup> *ibidem*

<sup>104</sup> MacArthur R., Pianka E., 1966, On optimal use of a patchy environment

<sup>105</sup> *ibidem*

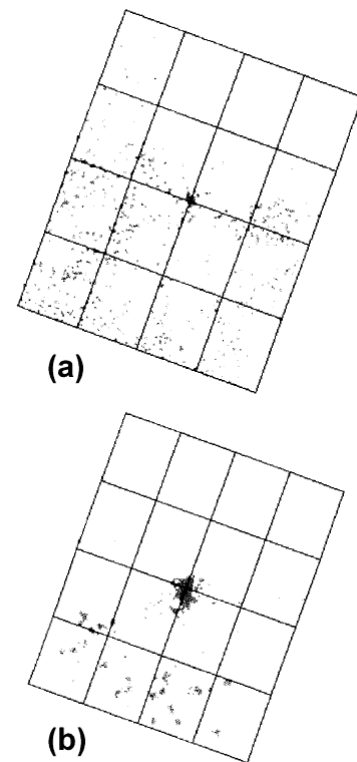
### 3.4.2. L'importanza del monitoraggio delle mandrie

Lo sviluppo e l'utilizzo di tecnologie sempre più avanzate ha aumentato la nostra capacità di descrivere e analizzare molti fenomeni tra i quali alcuni aspetti che riguardano il comportamento degli animali al pascolo. Se la rilevazione della loro posizione geografica ormai non è un problema, tuttavia più complicato risulta essere l'individuazione di uno schema che rappresenti il comportamento di questi animali; poiché entro un certo limite le loro azioni non sono del tutto casuali è possibile costruire un modello, anche se approssimativo, delle loro attività, attraverso un processo di campionamento.<sup>106</sup>

La prima forma di monitoraggio del comportamento degli animali è stata l'osservazione diretta e la rilevazione manuale della loro posizione, attività ovviamente rese particolarmente difficili dagli ambienti in cui queste operazioni spesso dovevano svolgersi.<sup>107</sup> L'evoluzione dell'elettronica e dei dispositivi di rilevazione automatici, delle microcamere e dei sistemi portatili di registrazione, hanno reso possibile l'osservazione a distanza e l'analisi continuativa di queste informazioni, sollevando chi fa questo tipo di attività da un lavoro spesso faticoso e scomodo.<sup>108</sup> I sistemi per la registrazione del movimento sono gli strumenti usati per monitorare i tempi e la durata del foraggiamento da parte degli animali da pascolo; i primi dispositivi usati per quantificare e rappresentare questo tipo di attività sono stati i pedometri seguiti poi da sistemi sempre più complessi.<sup>109</sup>

Con il recente progresso dell'elettronica si può ora rilevare simultaneamente la localizzazione di un animale e il suo livello di attività, potendone acquisire alcuni parametri fisiologici di specifico interesse come, ad esempio, la temperatura corporea, il battito cardiaco, il respiro, ecc.<sup>110</sup>

Il costante processo di miniaturizzazione dei sistemi portatili ha migliorato la capacità di raccolta, di analisi e di elaborazione di queste informazioni, permettendo inoltre l'integrazione di questi dispositivi con sistemi audio e video che consentono di relazionare i dati raccolti con l'ambiente in cui gli animali vivono.<sup>111</sup> Tutto questo ha consentito di concentrarsi maggiormente sull'elaborazione e sull'interpretazione dei dati raccolti: tali operazioni ora avvengono in tempo reale garantendo una maggiore precisione nella rilevazione e ottimizzando i tempi della ricerca.<sup>112</sup>



**Figura 27:** distribuzione degli animali in vari momenti della giornata (fonte: Turner L. et al., 2000, *op. cit.*)

<sup>106</sup> Leaner P., 1992, Sampling methods in behavior research

<sup>107</sup> per una descrizione delle varie tecnologie per raccogliere dati dagli animali *cf.* il Paragrafo 4.6

<sup>108</sup> Leaner P., 1992, *op. cit.*

<sup>109</sup> *cf.* di nuovo il Paragrafo 4.6

<sup>110</sup> Turner L. et al., 2000, Monitoring cattle behavior and pasture use with GPS and GIS

<sup>111</sup> *ibidem*

<sup>112</sup> *ibidem*

L'utilizzo di sistemi di localizzazione GPS, individuando rapidamente e in modo accurato qualsiasi posizione sulla superficie terrestre, ha espanso la capacità di comprensione del comportamento degli animali da pascolo anche sotto il profilo spazio-temporale; facendo riferimento alla **Figura 27** è possibile ad esempio stabilire la localizzazione di ciascun animale nel momento del pascolo (*a*) o nelle fasi di inattività (*b*), permettendo inoltre di determinare la distribuzione complessiva degli animali su un territorio potendo definire degli schemi distributivi ben precisi.<sup>113</sup>

Una delle questioni nell'efficientamento della gestione dei pascoli è quella dovuta all'incapacità o all'inerzia degli animali di sfruttare le aree dove si trovano le risorse non utilizzate; la determinazione degli schemi distributivi permette di comprendere non solo quali sono i loro spostamenti, ma anche le relazioni spaziali con gli *habitat* potendo predisporre le necessarie misure per una loro gestione più efficiente.<sup>114</sup> Il collo di bottiglia in questa metodologia è probabilmente la questione di redigere delle mappe che rappresentino in maniera accurata le caratteristiche di ciascun *habitat*, in particolar modo di quelli che condizionano il comportamento degli animali; il rapido sviluppo e integrazione delle tecnologie GPS e GIS a cui si è assistito in questi ultimi anni dovrebbe comunque aiutarci a risolvere anche questi problemi.<sup>115</sup>

### **3.4.3. In che modo gli animali possono utilizzare il territorio?**

Generalmente, nei programmi di gestione dei pascoli di tipo convenzionale, vi è una certa difficoltà nel prendere in considerazione gli avvenimenti meteorologici e geomorfologici degli anni precedenti, ad esempio le precipitazioni dell'anno in corso o l'andamento del clima, come se tali fenomeni non fossero in stretta relazione con la produzione del foraggio.<sup>116</sup> In altri termini, gli allevatori fanno fatica a tenere nella giusta considerazione le complessità ambientali, come ad esempio quali varietà vegetali o animali sono presenti su un territorio, fattori invece molto importanti nella gestione delle aree al pascolo.<sup>117</sup> Queste e altre variabili entrano in gioco nell'individuazione degli schemi distributivi degli animali sul territorio che sono stati descritti precedentemente.

La comprensione di queste variabili riveste un duplice interesse, sia sotto il profilo ambientale che economico oltre ad essere legate tra loro. A causa di rapidi cambiamenti climatici gli allevatori hanno dovuto modificare i loro programmi di gestione dei pascoli avendo spesso come unico obiettivo quello della sostenibilità economica, senza però avere troppo a cuore l'integrità e la preservazione dell'ambiente. Questa logica di gestione dei costi ha però portato al sovrautilizzo di alcune aree e al sottoutilizzo di altre; in ogni caso alla fine le zone più sfruttate sono quelle soggette ad un progressivo degrado ecologico che avrà inevitabilmente delle ripercussioni sulla produzione alimentare per gli animali. E' proprio grazie lo studio degli schemi distributivi, ma anche attraverso il monitoraggio delle specie animali e vegetali al quale può essere sovrapposta una mappatura delle risorse idriche o la verifica puntuale della presenza delle specie vegetali dannose, che è possibile una gestione più equilibrata e sostenibile di questi territori senza precludere buoni risultati anche sul piano

<sup>113</sup> Turner L. et al., 2000, *op. cit.*

<sup>114</sup> Vavra M., Ganskopp D., 1998, *op. cit.*

<sup>115</sup> *ibidem*

<sup>116</sup> *ibidem*

<sup>117</sup> *ibidem*

economico.<sup>118</sup> Nello spirito di una visione più ampia che tenga conto della complessità dell'ambiente su cui si opera, se si vuole tutelare la biodiversità di una determinata area è fondamentale verificare



**Figura 28:** gli animali da pascolo possono essere utilizzati come strategia per il controllo delle erbe infestanti (fonte: University of Montana)

anche la reale possibilità di coesistenza tra gli animali al pascolo e le varie specie selvatiche; questo è possibile se si è capaci di preservare le caratteristiche del territorio necessarie alla vita di entrambi i gruppi.<sup>119</sup> Si consideri ad esempio il caso delle specie di uccelli che sfruttano l'altezza dell'erba come riparo naturale per la nidificazione e per la crescita dei piccoli: in questo territorio la presenza degli animali da pascolo può influenzare negativamente l'ambiente circostante se questi si nutrono delle specie vegetali utili a questi uccelli.<sup>120</sup>

Dal lato opposto invece si colloca l'impiego degli erbivori come agenti di controllo delle erbe infestanti che vengono consumate rendendo il pascolo più competitivo e resistente alle loro successive fioriture. (**Figura 28**). In questo senso l'uso di questi animali richiede comunque una strategia che prevede il loro condizionamento a nutrirsi di piante che generalmente non consumerebbero e il successo di un programma di questo tipo richiede l'impiego di erbivori adatti a questo scopo.<sup>121</sup>

#### 3.4.4. Verso un modello di distribuzione degli animali al pascolo

Il modo nel quale gli animali si muovono in una determinata area è sempre stato oggetto di grande interesse da parte degli allevatori e di chi studia queste questioni. Una delle prime osservazioni compiute su diverse specie di erbivori ha rilevato che gli animali da pascolo hanno la tendenza ad occupare solo alcune parti del territorio; ciò suggerisce che un'occupazione selettiva di alcune aree può essere determinata dalla tendenza naturale a dividersi in modo equilibrato le risorse tra specie non concorrenti, riducendo la competizione tra soggetti diversi.<sup>122</sup> In una certa comunità animale l'uso stagionale dei pascoli e il fatto che questi si alimentano a differenti altezze rispetto al suolo, sono fattori che contribuiscono ad una ripartizione delle risorse, ad esempio nel caso di erbivori che condividono il medesimo pascolo e consumano diverse parti delle piante (ad es. le foglie piuttosto che lo stelo o i fiori).

<sup>118</sup> Vavra M., Ganskopp D., 1998, *op. cit.*

<sup>119</sup> *ibidem*

<sup>120</sup> *ibidem*

<sup>121</sup> Voth K, 2010, Cows eat weeds - Hot to turn your cows into weed managers

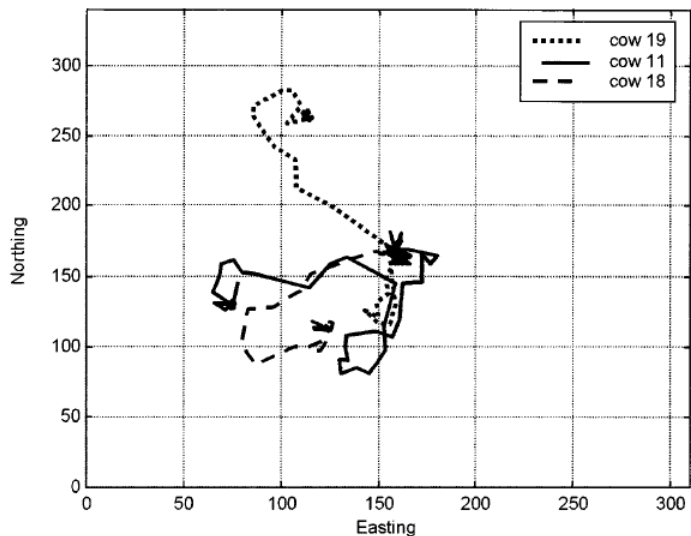
<sup>122</sup> Lamprey H., 1963, Ecological separation of the large mammal species

Ad ogni modo specie differenti di erbivori che pascolano in una medesima area possono essere causa di un consumo irregolare della vegetazione. E' stato inoltre dimostrato che nella pratica della pastorizia non intensiva, dove gli animali possono vagare liberamente, gli erbivori mantengono i loro pascoli nello stato iniziale, ovvero quello più nutritivo, determinando una loro più grande biodiversità vegetale.<sup>123</sup> Sul lato opposto invece, le aree dove il pascolo è praticato in maniera troppo intensiva presentano scarsità di risorse in quanto gli erbivori tendono a concentrare le loro attività solo in determinate zone che vengono utilizzate in maniera elevata.<sup>124</sup>

Recentemente si è potuto osservare che gli animali presenti sul territorio tendono a muoversi con una certa frequenza, spostandosi e tornando ripetutamente nelle stesse zone per alimentarsi.<sup>125</sup> Si è osservato che gli erbivori, se ne hanno la possibilità, preferiscono usare pascoli dove l'erba è più "fresca", in quanto questo comporta notevoli vantaggi nutrizionali, sia sotto il profilo quantitativo che qualitativo. E' evidente che se questi pascoli sono utilizzati per un lungo periodo di tempo, il loro stato di conservazione e il loro potenziale produttivo rischia di essere compromesso.<sup>126</sup>

Come visto nel precedente, alcuni studi hanno tentato di determinare uno schema su come gli animali si distribuiscono sul territorio quando hanno la necessità di nutrirsi (**Figura 27**); grazie alle moderne tecnologie per il tracciamento è inoltre possibile stabilire anche uno schema su come avvengono i loro movimenti, riuscendo anche a rilevare che le interazioni tra i singoli esemplari possono essere regolate da diversi fattori esterni come, ad esempio, la temperatura ambientale (**Figura 29**).<sup>127</sup>

Più un animale ha esperienza di un certo *habitat*, maggiore è la conoscenza delle aree dove può nutrirsi;<sup>128</sup> sulla base di questa osservazione sono stati condotti esperimenti su diverse specie di erbivori dimostrando che questi sono in grado di memorizzare i percorsi per ritrovare le zone di pascolo migliori evitando così quelle dove il foraggio scarseggia.<sup>129</sup> Tuttavia, dato che la memoria spaziale di questi animali si deteriora dopo solo 8-12 ore, questi dovrebbero riesplorare ogni volta il loro ambiente per riacquisirne la conoscenza e, conseguentemente, i greggi, nei loro spostamenti per nutrirsi, utilizzano sempre zone limitrofe tra loro e raramente rimangono nella stessa area per più di



**Figura 29:** esempio di schema dei movimenti di alcuni animali da pascolo nell'arco di una giornata (fonte: *Turner L. et al., 2000, op. cit.*)

<sup>123</sup> Westoby M., 1986, Mechanism influencing grazing success for livestock and wild herbivores

<sup>124</sup> *ibidem*

<sup>125</sup> Holecheck J. et al., 1995, Range management: principles and practices

<sup>126</sup> *ibidem*

<sup>127</sup> *cfr. Turner L. et al., 2000, op. cit.*

<sup>128</sup> Bailey D. et al., 1989, Characteristics of spatial memory in cattle

<sup>129</sup> *ibidem*

due giorni di seguito.<sup>130</sup> Sono tutte valutazioni che potranno essere considerate nell'elaborazione di un sistema automatico per il controllo degli animali al pascolo che verrà proposto nei capitoli successivi.

### 3.4.5. Direzioni future

Gli effetti negativi di un eccessivo sfruttamento dei pascoli da parte delle mandrie è uno dei fattori responsabili della trasformazione e degradazione del territorio e costituiscono un problema che deve essere affrontato per evitare la sua degradazione. La sfida, prima di ogni cosa, è quella di sviluppare sistemi che siano maggiormente eco-sostenibili di quelli attuali:<sup>131</sup> in futuro sarà possibile sfruttare e manipolare il comportamento degli animali da pascolo per migliorare l'*habitat* nel quale vengono a trovarsi, riuscendo così a controllare le specie vegetali e la vegetazione spontanea. Tuttavia è necessario tenere presente che vi è la necessità di massimizzare i ritorni economici senza rinunciare alla sostenibilità;<sup>132</sup> si tratta quindi di trovare un giusto equilibrio tra ciò che si vuole in termini economici e sociali e ciò che è possibile fare ecologicamente nel lungo periodo.<sup>133</sup>

Come accennato precedentemente il pascolo di una sola specie e in una determinata area per un lungo periodo di solito porta ad un impoverimento del territorio e ad una diminuzione della capacità di questa specie di procurarsi cibo; l'introduzione di animali differenti che si nutrono di vegetali anche questi di tipo differente, ad esempio bovini e ovini che hanno abitudini alimentari diverse, possono essere impiegati per il controllo delle piante che sono sgradite le une agli altri; si tratta di una buona pratica che permette di mantenere e sviluppare sistemi di pascolo che alla lunga si rivelano essere più efficienti e sostenibili.<sup>134</sup>

La possibilità di forme di controllo degli animali da pascolo apre la strada verso un maggiore senso di consapevolezza ambientale oltre che permettere una più ampia biodiversità;<sup>135</sup> al fine di perseguire questi obiettivi diventa comunque fondamentale che vi sia un diretto interesse degli allevatori riguardo l'idea di regolare le scelte alimentari degli animali da pascolo, attuando strategie di controllo sui loro spostamenti che faccia loro evitare le piante nocive. Si tratta di fattori in grado di migliorare il benessere di questi animali e, in ultima analisi, la produzione zootecnica.<sup>136</sup> Lo stesso discorso vale per le nuove tecnologie applicate a questo ambito, soprattutto quelle utilizzabili per il monitoraggio degli animali da pascolo che vengono proposte nelle idee progettuali presenti nei capitoli successivi; queste potranno avere un ruolo chiave in questo processo solo se si sapranno utilizzare in maniera combinata superando le inerzie del settore e cogliendo appieno le loro potenzialità.

---

<sup>130</sup> Bailey D. et al., 1989, *op. cit.*

<sup>131</sup> Walker J., 1995, *Grazing management and research now and in the next millenium*

<sup>132</sup> Vavra M., Ganskopp D., 1998, *op. cit.*

<sup>133</sup> Vavra M., 1996, *Sustainability of animal production systems: an ecological perspective*

<sup>134</sup> si veda quanto descritto nel Paragrafo 8.3.3 riguardo al sistema di coltivazione integrato denominato *Agro-Silvi-Pastoril*

<sup>135</sup> Vavra M., Ganskopp D., 1998, *op. cit.*

<sup>136</sup> *ibidem*



## 4. REVIEW DI ALCUNE TECNOLOGIE "INTELLIGENTI" PER L'AGRICOLTURA, L'ALLEVAMENTO E L'AMBIENTE

### 4.1. Il concetto di Smart farming

La difesa delle colture è centrale nelle scienze agronomiche e la sua messa in atto è possibile solo grazie all'azione di chi ha coscienza della complessità di fattori che concorrono al buono stato di salute delle piante. A questo fine concorre anche la necessità di ottimizzare l'impiego di prodotti chimici nelle coltivazioni con l'attuazione di un'agricoltura che deve essere più sostenibile oltre che razionale.<sup>137</sup>

Nel prossimo futuro si prevede l'introduzione nelle aziende agricole e allevative di nuovi mezzi per l'analisi, la gestione e la tracciabilità, tutti strumenti capaci di tenere sotto controllo una serie molto alta di fattori. In realtà si tratta di un processo che è già in atto: da qualche decennio si sta infatti attuando il passaggio dalle tecniche tradizionali, che avevano nella semplice meccanizzazione, nell'uso dei prodotti chimici, nell'irrigazione e nella selezione delle varietà o delle specie i propri cardini principali, muovendosi verso un tipo di agricoltura più *intelligente* che rientra nella definizione di *Smart farming* (**Figura 30**).<sup>138</sup> E' grazie alle nuove tecnologie sensoristiche, delle comunicazioni e dell'automazione che è possibile immaginare sistemi che vedono integrate:



**Figura 30:** la tecnologia per la guida autonoma combinata con piattaforme controllate da sensori sta già cambiando il settore agricolo (fonte: Deere & Company)

- la capacità di monitorare parametri di tipo ambientale, biologico, fisico e chimico;
- la possibilità di interpretare i relativi dati e di produrre modelli decisionali di supporto alle operazioni da svolgere sulle colture;
- l'automazione delle operazioni e dei trattamenti in relazione alle specifiche esigenze delle colture;
- la tracciabilità dei prodotti mediante la condivisione delle informazioni e la loro comunicazione ai consumatori e al territorio.

L'obiettivo finale comunque non dovrebbe essere quello di portare l'agricoltura e l'allevamento verso l'industrializzazione ma promuoverne l'efficienza e la sostenibilità al fine di ottenere prodotti di alta qualità.<sup>139</sup> Secondo alcuni, per raggiungere questi obiettivi, non è necessario attuare una rivoluzione

<sup>137</sup> cfr. la Nota 41 riguardante la cosiddetta Direttiva "Nitrati"

<sup>138</sup> AA.VV., 2014, Convegno "Come cambia la difesa della vite: esperienze in Toscana"

<sup>139</sup> Guerrini F., 2015, The future of agriculture? Smart farming

ma probabilmente è sufficiente cercare di reinterpretare queste pratiche attraverso l'uso delle nuove tecnologie, anche se non si tratta di un compito da poco.<sup>140</sup>

Questo processo può attuarsi attraverso la robotica, le soluzioni basate su tecnologia GPS, le previsioni climatiche, i sistemi per il controllo ambientale e il monitoraggio dei trasporti, ovvero attraverso tutta una serie di attività rilevabili da sistemi di sensori il cui utilizzo è ben affermato in altri settori; solo per fare alcuni esempi si va dalla gestione a distanza dei veicoli e dei macchinari, all'acquisizione dei dati relativi agli agenti inquinanti, al monitoraggio nei pazienti, ecc., tutti sistemi che producono informazioni in un flusso continuo che oggi va a costituire la cosiddetta *Internet delle cose*.<sup>141</sup>

Quello che rende lo *Smart farming* un'attività innovativa è il ruolo che in essa stanno avendo i cosiddetti *sistemi IT*;<sup>142</sup> grazie a questi strumenti il termine *Connected farm* (letteralmente fattorie connesse) si sta traducendo in una realtà permettendo la raccolta di una grande quantità di dati che derivano dai vari tipi di attività legate all'agricoltura, dalla valutazione dello stato dei terreni ai processi di coltivazione veri e propri, dal controllo dello stato di salute degli allevamenti fino alla composizione chimica dei prodotti, dal monitoraggio in tempo reale del loro trasporto lungo le varie filiere alla possibilità di offrire ai consumatori tutti i dettagli relativi alla loro "vita".<sup>143</sup>

## 4.2. Agricoltura di precisione

L'agricoltura di precisione consiste principalmente nell'utilizzo di varie tecnologie per la mappatura delle variazioni dello stato di salute delle colture e delle condizioni dei suoli al fine di applicare il corretto dosaggio di diversi elementi come acqua, sementi o fertilizzanti ai terreni.<sup>144</sup>

Queste variazioni producono le cosiddette *mappe di vigore* e le *mappe di prescrizione*: utilizzando l'analisi della quantità di luce riflessa nelle diverse bande dello spettro elettromagnetico, le prime mappe permettono di rappresentare la differenza all'interno della stessa coltura tra vigoria e *stress* delle piante, le seconde indicano invece quali sono gli input necessari a migliorarne le condizioni.<sup>145</sup> I dati utilizzati per creare queste mappe vengono prodotti da tutta una serie di sensori; questo processo viene definito con il termine di *remote sensing* e va ad affiancarsi o ad integrarsi a quanto prodotto dagli *Unmanned Aerial Vehicle*,<sup>146</sup> ai sistemi GPS e ai satelliti di osservazione della terra (**Figura 31**). Queste tecnologie permettono di individuare rapidamente quali sono i problemi durante la stagione vegetativa come ad esempio le carenze nutrizionali, la presenza di parassiti o malattie, dando la possibilità di intervenire molto velocemente sui fattori che potrebbero limitare e compromettere la resa potenziale delle colture.

<sup>140</sup> Guerrini F., 2015, *op. cit.*

<sup>141</sup> *ibidem*

<sup>142</sup> *sistemi IT*: indica tutta quella serie di infrastrutture necessarie a recuperare, trasmettere e manipolare dati, spesso nel contesto di un'attività commerciale o di un'altra attività economica

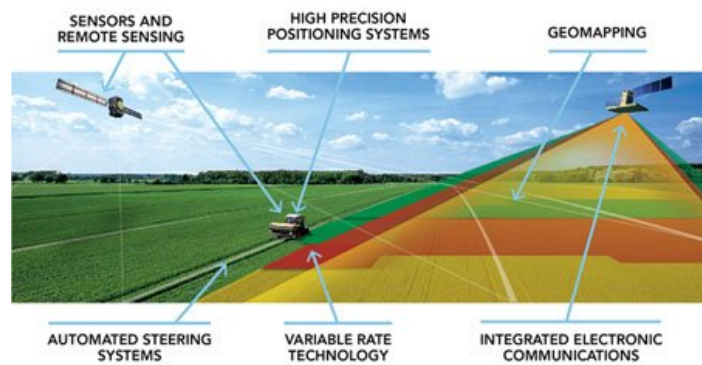
<sup>143</sup> Guerrini F., 2015, *op. cit.*

<sup>144</sup> Picchio S., 2015, Territorio, cibo e salute

<sup>145</sup> *ibidem*

<sup>146</sup> *cfr.* il Paragrafo 4.7

Fino a poco tempo fa l'utilizzo del telerilevamento per chi operava nel settore agricolo era un'attività soggetta a forti limitazioni:<sup>147</sup> i tempi necessari per ottenere le immagini satellitari erano spesso lunghi, la loro risoluzione talvolta non era sufficiente, la copertura nuvolosa limitava l'impiego operativo e i costi elevati rappresentavano un grosso ostacolo al loro impiego da parte delle piccole-medie imprese. In effetti le tecniche e gli strumenti disponibili non



**Figura 31:** alcune delle tecnologie che entrano in gioco nell'agricoltura di precisione (fonte: CEMA Association)

erano sufficientemente evoluti per elaborare le immagini in tempo per sviluppare applicazioni specifiche, ad esempio a determinare velocemente la presenza di specie di infestanti nell'ottica di contenerne la proliferazione. Grazie invece alla possibilità attuale di poter acquisire immagini con una risoluzione spaziale nell'ordine di centimetri e alla possibilità di elaborazione in tempi brevi, è ora possibile monitorare lo *stress* dovuto alla carenza di nutrienti o alla presenza di malattie potendo attuare le scelte strategiche e gestionali più efficienti.<sup>148</sup>

Tutti questi requisiti vanno ben al di là delle capacità offerte dai satelliti disponibili fino a poco tempo fa; invece, con il numero sempre più crescente di satelliti e l'aumento della risoluzione spaziale, spettrale e radiometrica delle immagini da questi acquisite, i tempi di produzione delle informazioni geografiche sono ora sufficienti a soddisfare la maggior parte delle applicazioni nel campo dell'agricoltura di precisione.<sup>149</sup>

Per definire i parametri della crescita delle colture e per determinare lo stato della copertura fogliare si utilizza il telerilevamento da satellite attraverso opportuni indicatori come ad esempio l'indice LAI.<sup>150</sup> Altri indicatori si basano su dati telerilevati che utilizzano l'analisi della proprietà dei suoli in superficie potendo rilevare il contenuto di azoto, il loro *stress* idrico, la biomassa a terra, l'altezza delle colture, la loro resa e consentendo la mappatura delle piante infestanti. Molti di questi parametri sono stimati utilizzando altri indicatori, come ad esempio l'indice NDVI o il NDRE.<sup>151</sup>

#### 4.2.1. Remote sensing: strumenti e metodi

La moderna tecnologia del *remote sensing* ha origini lontane: l'invenzione della fotografia, più di 150 anni fa, già consentiva di guardare la superficie terrestre dall'alto verso il basso; sono del 1840 le

<sup>147</sup> Picchio S., 2015, *op. cit.*

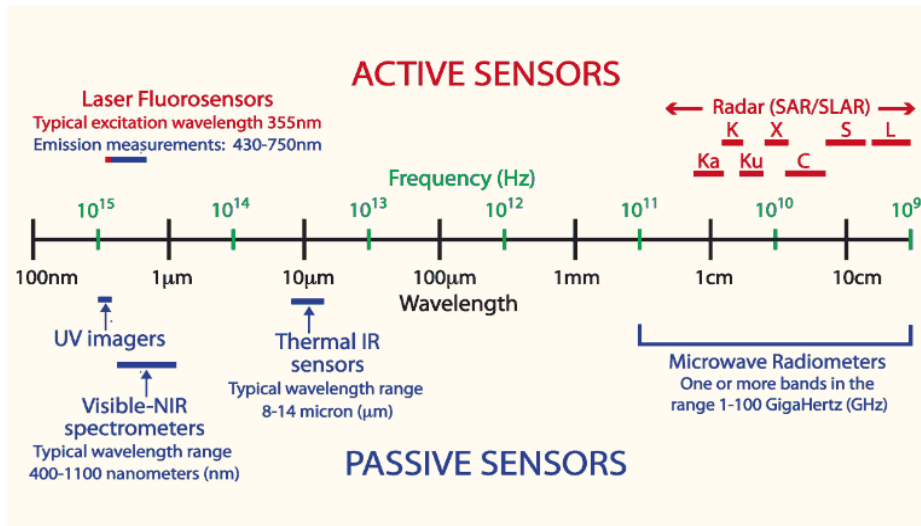
<sup>148</sup> *ibidem*

<sup>149</sup> *ibidem*

<sup>150</sup> LAI (*Leaf Area Index*), indice di area fogliare: è una misura della superficie fogliare per unità di superficie del suolo; è un parametro utilizzato per lo studio delle coperture vegetali in campo forestale e agrario

<sup>151</sup> il NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) è uno strumento per identificare le aree vegetali e la loro condizione mediante dati telerilevati multispettrali; l'NDRE (*Normalized Difference Red Edge*) è un indicatore che determina il livello di clorofilla nelle piante al fine di determinarne il loro stato di salute e che ha una migliore rappresentatività dell'NDVI durante le stagioni intermedie

prime foto aeree scattate da un pallone aerostatico per la produzione di mappe topografiche.<sup>152</sup> Questa tecnica ha avuto poi un forte impulso durante la prima guerra mondiale utilizzando macchine fotografiche montate su aerei, permettendo di scattare foto di aree molto vaste. A partire dagli anni sessanta del secolo scorso la fotografia aerea è diventata quindi lo strumento standard per descrivere la superficie terrestre da una prospettiva verticale o obliqua.<sup>153</sup> Oggi questa tecnica è stata affiancata da un gran numero di altri strumenti che vengono classificati come di tipo *attivo* o *passivo* (**Figura 32**).



**Figura 32:** lunghezze d'onda e frequenze operative di alcuni degli strumenti utilizzati per il *remote sensing* (fonte: SEOS Project)

Gli **strumenti passivi** rilevano l'energia naturale riflessa o emessa dalla zona osservata, misurando in pratica la radiazione solare, la fonte più comune rilevata dagli strumenti di questo tipo. Nel *remote sensing* viene utilizzato un certo numero di strumenti passivi, di seguito descritti brevemente, che possono essere utilizzati sia singolarmente che in maniera combinata per i più svariati impieghi (**Figura 33**).<sup>154</sup>

### Radiometro

Si tratta di uno strumento che misura l'intensità di radiazione elettromagnetica in alcune bande d'onda dello spettro elettromagnetico che vengono definite come *multispettrali*. Queste bande sono individuate in base alle caratteristiche che devono essere rilevate come, ad esempio, la temperatura superficiale del mare, il tracciamento di residui chimici nell'atmosfera, ecc.

Normalmente un radiometro viene identificato anche in base alla porzione dello spettro elettromagnetico che va a ricoprire, ad esempio radiometro per la luce visibile, l'infrarosso o le microonde.

<sup>152</sup> *cf.* la voce Nasa Earth Observatory - Remote sensing: introduction and history in SITOGRAFIA

<sup>153</sup> Nasa Earth Observatory in SITOGRAFIA, *op. cit.*

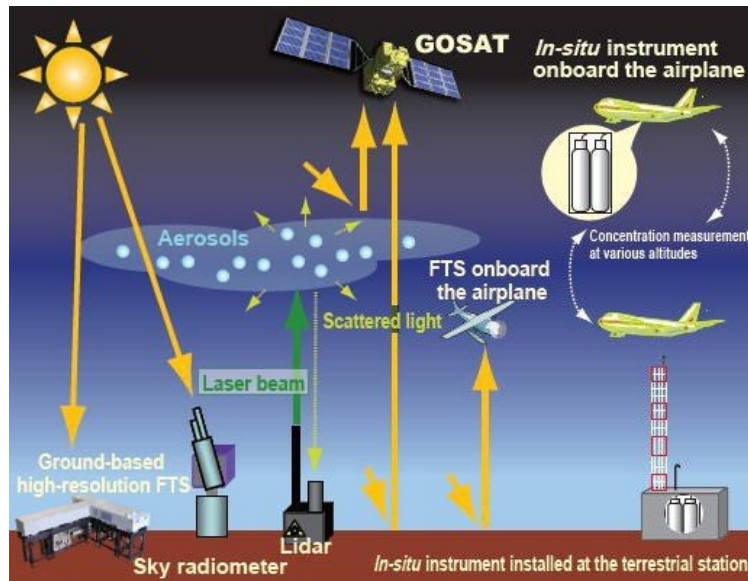
<sup>154</sup> *ibidem*

## Radiometro per immagini

Tale strumento produce un'immagine attraverso la scannerizzazione effettuata da un fascio bidimensionale di pixel; la scannerizzazione può essere svolta meccanicamente o elettronicamente utilizzando una serie di rilevatori.

## Spettrometro

E' un dispositivo progettato per rilevare, misurare e analizzare il contenuto spettrale di una radiazione elettromagnetica incidente utilizzando una serie di prismi per disperdere la radiazione al fine di determinare in maniera ottimale lo spettro elettromagnetico.



**Figura 33:** esempio di impiego di alcuni sensori di tipo *passivo* e *attivo* al fine di determinare la concentrazione di gas serra nell'atmosfera (fonte: GOSAT Project)

A differenza degli strumenti passivi, gli **strumenti attivi** provvedono invece a "illuminare" l'oggetto o la scena che deve essere rilevata, emettendo una propria energia elettromagnetica, generalmente sotto forma di fascio energetico. Un impulso di energia viene inviato dal dispositivo all'oggetto che a sua volta rimanda indietro l'impulso al dispositivo.

## Radar

Il radar è lo strumento più comune di questa categoria e utilizza un trasmettitore che opera alle frequenze radio nella banda delle microonde per emettere una radiazione elettromagnetica attraverso un'antenna direzionale; la stessa antenna ha poi il compito di misurare il tempo di arrivo della radiazione riflessa dall'oggetto che si sta osservando.

## Scatterometro

Lo scatterometro è un radar che utilizza microonde ad alta frequenza progettato specificatamente per misurare la radiazione "di ritorno" e può essere utilizzato, ad esempio, per costruire mappe sulla velocità e sulla direzione del vento.

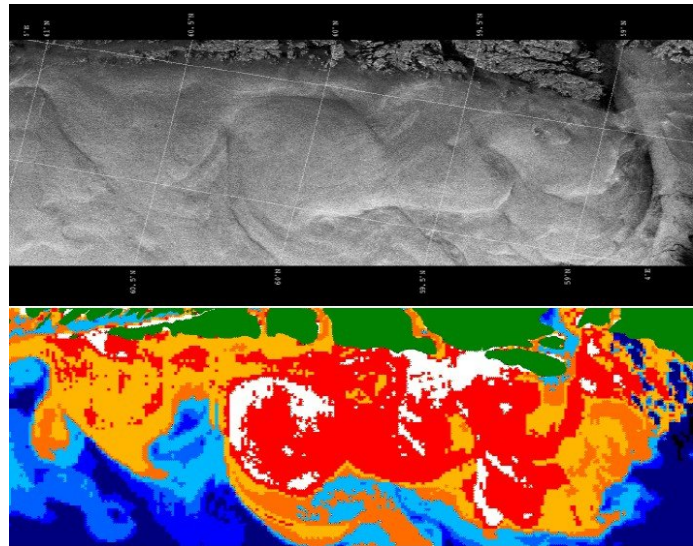
## Lidar

Si tratta di uno strumento che utilizza un laser per trasmettere un impulso di luce e un ricevitore con un sensore che misura la luce "di ritorno" o riflessa. Analogamente a quanto avviene nel radar, la distanza dall'oggetto è determinata dal tempo impiegato dagli impulsi per tornare all'emettitore basandosi sulla velocità della luce per calcolare la distanza percorsa. Il lidar viene generalmente utilizzato per determinare i profili atmosferici delle nuvole, degli aerosol e degli altri componenti che costituiscono l'atmosfera.

## Altimetro Laser

Un altimetro laser usa uno strumento lidar che viene impiegato per misurare l'altezza alla quale è posta una piattaforma strumentale. Viene utilizzato per determinare la topografia del terreno anche su aree molto vaste.

Il rapido sviluppo della sensoristica nei sistemi di osservazione terrestre sta offrendo nuove opportunità derivate principalmente dall'incremento della risoluzione spaziale e temporale; da questi fattori dipende la qualità e la quantità di informazione utili estraibili da un'immagine.<sup>156</sup> Infatti la potenza di calcolo dei nuovi elaboratori e la raffinatezza degli algoritmi di classificazione delle immagini non darebbero i risultati attesi se non si disponesse di immagini con un'adeguata risoluzione. In realtà non si tratta solo di una questione di *pixel*; oltre agli algoritmi di trattamento assume una importanza rilevante anche il fattore temporale: ad esempio, i tempi di passaggio di un satellite per un determinato punto e la risoluzione delle immagini acquisite sono fattori importanti per determinare le modifiche che possono essere avvenute su quel territorio.<sup>157</sup> Attualmente è disponibile una nuova generazione di *software* per il trattamento delle immagini che si basa sui cosiddetti *classificatori*<sup>158</sup> e che sfrutta al meglio le caratteristiche intrinseche dell'informazione prodotta dal satellite o dalla piattaforma aerea: questi strumenti non solo permettono di svolgere un'analisi sofisticata sulle immagini ma consentono di elaborare anche il contesto in cui ogni singolo *pixel* è inserito, aggregando *pixel* simili e trattandoli come veri e propri oggetti (**Figura 34**). L'interesse verso questo tipo di analisi sta nella potenzialità di



**Figura 34:** esempio di come da una immagine di tipo SAR<sup>155</sup> (sopra) è possibile ricavare una mappa (sotto) delle temperature superficiali delle correnti oceaniche (fonte: NERSC)

<sup>155</sup> immagine SAR: immagine radar della superficie terrestre rilevata da satellite che, rispetto all'osservazione ottica, non subisce l'influenza dei fenomeni meteorologici

<sup>156</sup> Picchio S., 2015, *op. cit.*

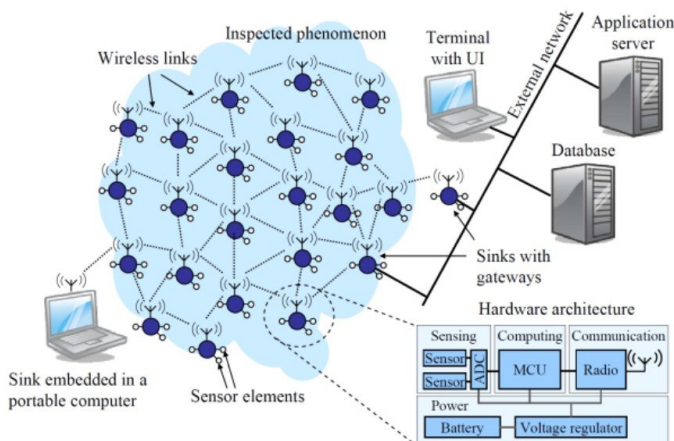
<sup>157</sup> *ibidem*

<sup>158</sup> *classificatori*: particolari algoritmi che permettono di produrre mappe tematiche dai dati telerilevati; si veda *Classificazione di immagini telerilevate* alla voce Unisky in SITOGRAFIA

classificazione automatica e nella possibilità di produrre serie di immagini multitemporali;<sup>159</sup> l'*output* di questo processo costituisce uno strato informativo che può essere trattato in *overlay topologico*<sup>160</sup> insieme ad una grande varietà di altri dati. La classificazione automatica è un campo di ricerca oggetto di continua sperimentazione che si basa sull'utilizzo di dati provenienti da piattaforme diverse (satelliti, aerei, droni) e da diverse tipologie di sensori (multispettrali, pancromatici, ecc.) che sono in grado di "irrobustire" la logica del classificatore puntando a metodologie di *rilevamento per oggetti*.<sup>161</sup> Il vantaggio di questo metodo risiede nella capacità di contestualizzare l'informazione analizzata permettendone un uso diretto all'interno dei database geografici, valorizzando il contenuto informativo della componente geometrica delle immagini rilevate.<sup>162</sup>

### 4.3. Reti Wireless Sensor Networks (WSN)

Una *Wireless Sensor Networks* (WSN) è un insieme di sensori distribuiti nell'ambiente con lo scopo di rilevare e misurare le grandezze di alcuni fenomeni naturali. Le WSN possono avere diversi campi di applicazione: industriale, militare, per il monitoraggio ambientale, la salute, ecc.<sup>163</sup>



**Figura 35:** architettura di una rete WSN (fonte: Tampere University of Technology)

Una WSN è costituita da una stazione base, connessa ad altre reti, e da un numero definito di nodi presso ognuno dei quali è posizionato un sensore che ha il compito di ricevere le informazioni ambientali. I dati rilevati vengono inviati, attraverso una stazione base (che può essere anche uno degli stessi sensori), verso un server che ha il compito di raccogliere le informazioni prodotte in un *database* e far funzionare delle applicazioni (**Figura 35**).

Ogni nodo/sensore è alimentato da una batteria, è dotato di una proprio *controller* e deve poter effettuare *operazioni di routing*,<sup>164</sup> gestendo il flusso dati che proviene dai sensori adiacenti. La rete che quindi ne deriva è caratterizzata da una *topologia*<sup>165</sup> che viene definita di tipo *ridondante* quando, nel caso di nodi non funzionanti, questa è mantenuta attiva grazie al

<sup>159</sup> Picchio S., 2015, *op. cit.*

<sup>160</sup> *overlay topologico*: procedura di analisi spaziale che consente di sovrapporre e intersecare gli strati informativi (*layer*), unendo così le informazioni associate a ciascuno di essi, per produrre un nuovo livello di sintesi

<sup>161</sup> Picchio S., 2015, *op. cit.*

<sup>162</sup> *ibidem*

<sup>163</sup> Iandelli N., 2011, *Microdispositivi per Informazione Territoriale e Ambientale*

<sup>164</sup> *operazioni di routing*: inoltrare traffico, in questo caso di dati, da un nodo ad un altro di una rete

<sup>165</sup> *topologia della rete*: è il modello geometrico che rappresenta le relazioni di connettività fisica o logica tra gli elementi (nodi) costituenti la rete stessa

funzionamento dei nodi adiacenti. Le WSN inoltre devono essere *scalabili*<sup>166</sup> e la loro configurazione deve risultare una procedura semplice.<sup>167</sup> Le reti di sensori possono essere utilizzate in svariati campi, come quelli di seguito elencati.<sup>168</sup>

### **Monitoraggio di apparecchiature industriali**

I sensori WSN possono essere applicati a macchinari industriali per analizzarne il comportamento dei componenti sottoposti a *stress* meccanico, migliorandone le *performance* o prevedendone rotture e guasti.

### **Monitoraggio di strutture**

Le reti di sensori posizionate su determinate strutture permettono di rilevare lo stato di edifici, ponti, case sottoposte a sollecitazioni esterne, ecc.; in alternativa, possono essere utilizzate anche per misurare difetti strutturali di alcuni componenti.

### **Controllo del traffico veicolare**

Un sistema di sensori finalizzato al monitoraggio del traffico controlla il passaggio di automobili, analizza la velocità e l'intensità dei flussi e individua eventuali blocchi o situazioni anomale.

### **Sorveglianza**

Questo tipo di reti può essere utilizzato come ausilio per la sorveglianza di centri commerciali o di luoghi a rischio, come stazioni ferroviarie, aeroporti o centri commerciali.

### **Impieghi militari**

Le reti di sensori nascono in questo ambito e la loro applicazione prevede il monitoraggio dello stato o della posizione delle forze sul campo di battaglia, la sorveglianza dei luoghi strategici, ecc.

### **Monitoraggio ambientale**

In campo ambientale le applicazioni possono essere molteplici: attraverso le WSN è possibile monitorare movimenti degli animali oppure studiare il loro *habitat*. Appartiene a questo ambito anche lo studio di eventi naturali catastrofici quali incendi, tornado, terremoti, eruzioni vulcaniche, ecc.

### **Monitoraggio agricolo**

Nel settore agricolo le reti WSN vengono utilizzate per il monitoraggio di specifiche situazioni ambientali; in particolar modo nel campo dell'agricoltura di precisione le reti di sensori possono essere utilizzate per rilevare in tempo reale il livello di pesticidi nell'acqua o nei terreni agricoli.

### **Applicazioni mediche**

Le reti *wireless* sono oggi impiegate anche per monitorare lo stato di salute dei pazienti, eseguire valutazioni diagnostiche, amministrare farmaci e monitorare a distanza dati fisiologici quali la

---

<sup>166</sup> *rete scalabile*: rete che deve essere in grado di lavorare con un numero di nodi elevato, facilmente espandibile e configurabile

<sup>167</sup> Iandelli N., 2011, *op. cit.*

<sup>168</sup> *ibidem*



frequenza cardiaca o la pressione sanguigna e, più in generale, in tutti quei campi nei quali viene richiesta affidabilità e sicurezza nella trasmissione dei dati.

### Applicazioni personali

Nel settore della domotica le reti di sensori vengono utilizzate per fornire servizi all'utente all'interno delle abitazioni, ad esempio informando tempestivamente di eventuali guasti. Questi dispositivi sono stati introdotti anche negli elettrodomestici e questi, interagendo tra loro attraverso una rete interna o esterna, possono essere gestiti a distanza degli utenti.

#### 4.3.1. Sistemi trasmissivi

Allo stato attuale, nella realizzazione delle WSN vengono impiegate diverse tecnologie trasmissive; tra queste vi sono i protocolli *Bluetooth Low Energy*, *ZigBee Pro*, *Low Power Wi-Fi* o *DASH7*, tutti operanti sulla banda di frequenza dei 2.4 GHz ad esclusione dell'ultimo che opera alla frequenza di 400 MHz circa (**Figura 36**).

	Low Energy Bluetooth	DASH7 (ISO 18000-7)	Low Power Wi-Fi (IEEE 802.11)	ZigBee (IEEE 802.15.4)
Frequency Range	2.402-2.482 GHz	433.04 - 434.79 MHz	2.40-2.50 GHz	2.402-2.482 GHz
Discrete Channels	3	1 to 5	3	16
Max Channel Bandwidth	~8 MHz	0.5 to 1.75 MHz	22 MHz	5 MHz
Modulation	GFSK	FSK or GFSK	CCK /QAM64 (b/g)	QPSK
Nominal Data-Rate	1 Mbps	27.8 Kbps	1 Mbps	250 Kbps
Est. Max Potential Data-Rate*	1 Mbps	100 Kbps	54 Mbps	500 Kbps
Nominal Range (0 dBm)	10 m	250 m	25 m	75 m
Average Power for ten (10) 256-byte messages per day†	50 µW	42 µW	570 µW	414 µW

**Figura 36:** confronto delle tecnologie trasmissive disponibili nella realizzazione di una WSN (fonte: DASH7 Alliance)

In termini teorici, al fine di una valutazione di efficacia/efficienza trasmissiva, quando aumenta la frequenza aumenta anche la capacità di trasmettere dati ma crescono comunque anche i consumi energetici diminuendo la distanza trasmissiva.<sup>169</sup> Se sulla carta il sistema dalle caratteristiche migliori, in termini di consumo energetico e distanza trasmissiva, risulta essere il protocollo *DASH7* in questo lavoro si è preferito fare riferimento alle tecnologie maggiormente reperibili e diffuse e che quindi possono essere considerate uno *standard* e cioè lo *ZigBee* e il *Bluetooth* nella versione *Low Energy*. Entrambe operano all'interno della frequenza dei 2.4 GHz e sono inoltre libere da costi di licenza garantendo nello stesso tempo un ampio spettro di utilizzo e un alto livello di compatibilità globale.

<sup>169</sup> Garcia L. et al., 2009, A review of wireless sensor technologies and applications in agriculture and food industry: state of the art and current trends

## Bluetooth

Lo standard trasmissivo *Bluetooth* è stato sviluppato come protocollo *wireless* per comunicazioni a breve portata e per realizzare le cosiddette reti senza fili personali (PAN) in sostituzione dei cavi per i dispositivi mobili.

Oltre a quella dei 2.4 GHz può utilizzare anche le bande radio dei 868 e 915 MHz e riesce a trasmettere fino alla velocità di 1 Mb al secondo, permettendo la connessione fino a sette dispositivi. Il *Bluetooth* è progettato per le funzionalità di rete e la sua funzione più utilizzata è quella della trasmissione e sincronizzazione dei dati, ad esempio, tra dispositivi.

## ZigBee

Anche il protocollo *ZigBee* utilizza tre bande di frequenza con differenti capacità trasmissive: 2.4 MHz (250 kb/s), 915 MHz (40 kb/s) e 868 MHz (20 kb/s); supporta inoltre le funzionalità per la selezione del canale, della stima della qualità del collegamento e di misura dell'energia assorbita.<sup>170</sup> Oltre che in campo agricolo è ampiamente utilizzato in automazione, nella sicurezza, in alcuni dispositivi medicali e nell'industria alimentare. Viene impiegato in applicazioni che richiedono una maggiore durata delle batterie, dove si richiede la capacità automatica o semi-automatica di configurazione oltre che la possibilità di aggiungere o di rimuovere facilmente nodi di rete.

## Confronto tra i due protocolli

In un confronto che tenga conto della capacità di trasmissione dati (*data-rate*), è evidente che il sistema *Bluetooth* ha maggiori vantaggi rispetto allo *ZigBee* nel campo delle applicazioni nelle quali la quantità delle informazioni trasmesse è un fattore decisivo (**Figura 37**). Comunque, a parte applicazioni particolari, una delle questioni più importanti in una rete WSN è la problematica del consumo energetico che dovrebbe essere sempre il minore possibile. Inizialmente, nella progettazione del protocollo *Bluetooth*, almeno nelle sue prime versioni, il consumo energetico ha avuto un'importanza secondaria mentre la versione *Low Energy* risolve questa problematica. Differentemente lo *ZigBee* pone come primaria importanza la questione dei consumi essendo stato sviluppato espressamente con l'obiettivo di garantire una durata della batteria molto alta. Inoltre lo *ZigBee* è caratterizzato da una maggiore flessibilità e da una più minore *latenza*<sup>171</sup> rispetto al *Bluetooth*, permettendo la realizzazione di differenti topologie di rete e consentendo la costruzione di reti WSN con un numero di nodi molto più grande.

Così, prima dello sviluppo del *Bluetooth Low Energy*, il protocollo *ZigBee* ha rappresentato lo strumento migliore con il quale sviluppare soluzioni WSN in vari campi applicativi e, per questo motivo, è stato largamente utilizzato in molti progetti di ricerca in campo agricolo o nell'industria alimentare.<sup>172</sup>

<sup>170</sup> tecniche atte a migliorare la qualità del segnale e la quantità di dati che possono essere ricevuti e/o inviati

<sup>171</sup> *latenza*: una misura della velocità di risposta di un sistema

<sup>172</sup> Garcia L. et al., 2009, *op. cit.*

	Bluetooth	ZigBee
Standards	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4
Data rate	1 Mb s <sup>-1</sup>	20-250 kb s <sup>-1</sup>
Latency (time to establish a new link)	< 10 s	30 ms
Frequencies	2.4 GHz	2.4 GHz
No. of nodes	8	65,000
Range	8 m (Class II, III) to 100 m (Class I)	1-100 m
Modulation	FHSS <sup>2</sup>	DSSS <sup>1</sup>
Network topology	<i>Ad hoc</i> piconets	<i>Ad hoc</i> , star, mesh
Data type	Audio, graphics, pictures, files	Small data packet
Battery life	1 week	> 1 year
Extendibility	No	Yes

**Figura 37:** confronto tra le tecnologie trasmissive *Bluetooth* (prima della versione Low Energy) e *ZigBee* (fonte: Garcia L. et al., 2009, op. cit)

### 4.3.2. Applicazioni in campo agricolo

Le reti WSN possono essere utilizzate per migliorare l'agricoltura dal punto di vista dell'efficienza e dell'economicità. Al fine della conoscenza del territorio sul quale si operava, prima dell'avvento dell'agricoltura di precisione gli agricoltori potevano fare affidamento al massimo sulle immagini satellitari o su quelle acquisite da aerei; con lo sviluppo delle tecnologie trasmissive e dei sensori, si ha ora a disposizione una serie di strumenti in grado di produrre un'informazione molto più accurata e affidabile, con costi si stanno sempre più ridotti.<sup>173</sup> Una agricoltura che utilizza questi dispositivi ha il vantaggio di consentire una verifica veloce e puntuale di un grande numero di variabili come, ad esempio, la quantità di acqua o fertilizzanti che devono essere utilizzati nelle pratiche agronomiche. Questa tecnologia, così come è in grado di identificare e monitorare una singola pianta, nello stesso tempo permette di tenere sotto controllo diversi tipi di colture che possono estendersi su aree molto vaste (**Figura 38**). I dati raccolti dalle reti WSN, la loro interpretazione e il loro utilizzo permettono quindi una gestione agronomica più efficiente senza contare che può ridurre gli impatti sull'ambiente: grazie a questi strumenti ogni area può ricevere solo ciò di cui ha bisogno per il tempo e la durata strettamente necessarie.<sup>174</sup>

L'architettura di una rete WSN per l'agricoltura è simile a quella usata, ad esempio, per i controlli industriali, o per l'automazione negli edifici o per i sistemi di sicurezza: si richiede un'unità centrale di controllo dotata di un'interfaccia utente, un *gateway*<sup>175</sup> verso altre reti, un sistema di alimentazione e, cosa più



**Figura 38:** WSN per l'agricoltura di precisione (fonte: U.S. Department of Agriculture)

<sup>173</sup> Zhang Q., 2015, Precision agriculture technology for crop farming

<sup>174</sup> *ibidem*

<sup>175</sup> *gateway*: dispositivo che ha lo scopo di veicolare i dati tra reti di diverso tipo

importante, una diffusa rete di sensori.<sup>176</sup> Diversamente però dagli altri sistemi, l'agricoltura di precisione ha la necessità che il modello operativo sia specializzato per il contesto geografico in cui viene realizzata la rete, che tenga conto cioè della differenza delle variabili in gioco come la tipologia del suolo o la particolarità delle colture o delle piante cosicché ogni luogo possa ricevere, ad esempio, una specifica quantità di acqua, di fertilizzanti, di pesticidi o altre sostanze utili.<sup>177</sup>

Queste reti inoltre devono essere di tipo *scalabile*<sup>178</sup> permettendo di aggiungere ulteriori sensori in maniera relativamente semplice. Inoltre, da punto di vista operativo, si raccomanda che la raccolta di dati avvenga su base oraria visto che spesso una loro maggiore quantità non fornisce in realtà informazioni utili in più e rischia, invece, di sovraccaricare la rete in termini trasmissivi oltre che implicare un maggiore consumo energetico.<sup>179</sup> In base al tipo di applicazione si ritiene che una frequenza di acquisizione inferiore ad una ogni ora sia più che adeguata per colture a crescita lenta o per aree colturali che presentano condizioni climatiche stabili e uniformi.<sup>180</sup>

Una serie, anche se non esaustiva, di applicazioni in campo agricolo può prevedere:<sup>181</sup>

- il monitoraggio di ampie aree coltivate o di ambiti forestali,
- la prevenzione degli incendi nelle foreste,
- lo studio della biomassa,
- il miglioramento delle colture.

L'agricoltura di precisione mediante le reti WSN è attuabile non solo su terraferma, i concetti ma può essere applicata anche ai sistemi acquatici. Esistono infatti esempi di reti WSN utilizzate per monitorare la crescita delle alghe:<sup>182</sup> se la temperatura dell'aria è spesso un fattore critico per le piante nello stesso modo lo è la temperatura dell'acqua per gli analoghi organismi acquatici, come lo è anche la quantità di luce solare o il livello di pH. A livello generale i sensori in queste reti vengono utilizzati per monitorare i seguenti parametri:<sup>183</sup>

- temperatura;
- umidità;
- pressione barometrica;
- gas responsabili dell'effetto serra;
- umidità del suolo;
- acidità del suolo/pH.

Sempre a livello generale il modello *software* alla base del funzionamento di una rete WSN per un impiego in campo agricolo prevede di raccogliere i dati provenienti dai sensori in un meccanismo che attiva l'unità di controllo quando i parametri superano una soglia limite prefissata, garantendo così gli input ottimali (aria, luce, ecc.) per ogni singola pianta durante un determinato periodo di tempo.

---

<sup>176</sup> *cf.* Figura 35

<sup>177</sup> Zhang Q., 2015, *op. cit.*

<sup>178</sup> *cf.* Nota 166

<sup>179</sup> Garcia L. *et al.*, 2009, *op. cit.*

<sup>180</sup> *cf.* il Paragrafo 5.2.1 sulla necessità di una migliore gestione dei dati prodotti dalla cosiddetta sensoristica "diffusa"

<sup>181</sup> Garcia L. *et al.*, 2009, *op. cit.*

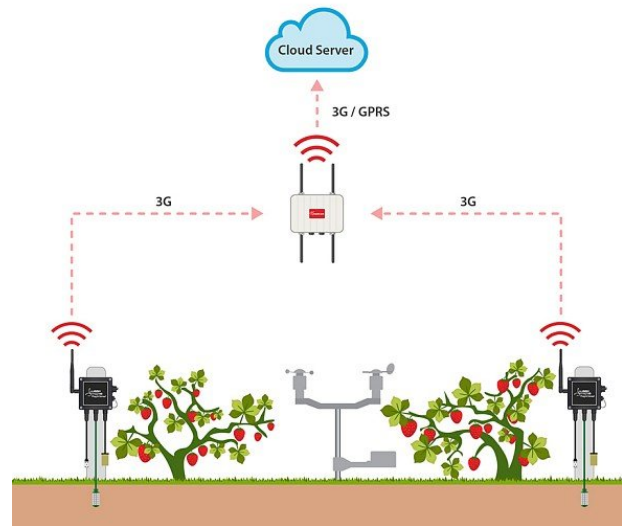
<sup>182</sup> Zhang Q., 2015, *op. cit.*

<sup>183</sup> Garcia L. *et al.*, 2009, *op. cit.*

In questo contesto operativo l'unità di controllo ha generalmente la responsabilità di monitorare:<sup>184</sup>

- la pressione dell'acqua,
- il funzionamento di valvole per l'irrigazione,
- la dispersione di fertilizzanti o di pesticidi,
- la regolazione di sistemi per il riscaldamento e il raffreddamento,
- il controllo della luminosità o dell'ombreggiatura all'interno, ad esempio, delle serre.

Più il costo per la produzione dei sensori e dei sistemi di comunicazione tenderà a scendere, maggiore sarà il numero di quanti incominceranno ad utilizzare i sistemi WSN nella propria attività agricola.<sup>185</sup> Nonostante si tratti di una tendenza in crescita e che molte aziende forniscano delle soluzioni sviluppate *ad hoc* per specifiche colture (**Figura 39**), sono ancora molti quelli che per motivi economici hanno difficoltà nell'avvicinarsi a queste tecnologie innovative soprattutto le piccole e medie imprese del settore agricolo dove la rendita delle colture rimane un fattore critico. Tuttavia, come verrà visto più avanti, gli ostacoli all'attuazione di questa piccola rivoluzione nel settore sembrano essere legati più ad una dimensione di carattere culturale che a ragioni tecnologiche o economiche.<sup>186</sup>



**Figura 39:** esempio di rete WSN per monitorare la crescita delle fragole (fonte: esiFarm / Libelium)

### 4.3.3. Applicazioni nell'allevamento

Negli anni recenti i metodi di allevamento degli animali sono cambiati anche grazie all'affermarsi di sistemi di controllo e monitoraggio sempre più rapidi e precisi. Gli esempi in questo campo sono numerosi: le reti WSN vengono usate per misurare, ad esempio, la temperatura corporea dei singoli animali, sfruttando il fatto che i sensori sono diventati poco invasivi e in grado di garantire un'informazione continua in tempo reale.<sup>187</sup> Oltre alla temperatura corporea, mediante un *pulsossimetro*,<sup>188</sup> si può inoltre ottenere la saturazione dell'ossigeno nel sangue, la temperatura ambientale e la respirazione verificando nello stesso tempo la sua esatta posizione geografica grazie all'associazione di un sistema GPS.<sup>189</sup>

<sup>184</sup> *ibidem*

<sup>185</sup> Garcia L. et al., 2009, *op. cit.*

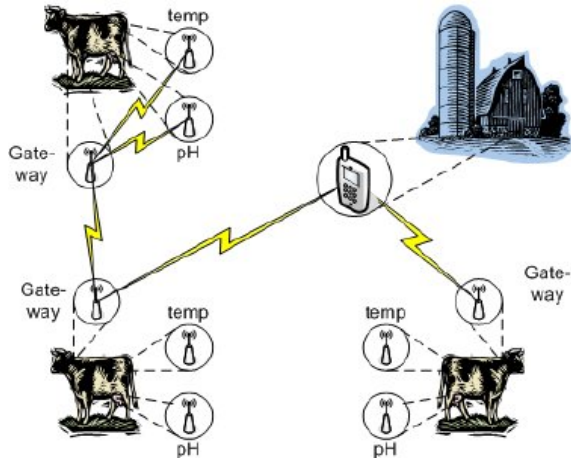
<sup>186</sup> *cfr.* la Nota 419

<sup>187</sup> Nagl L. et al., 2003, Wearable sensor system for wireless state-of-health determination in cattle

<sup>188</sup> *pulsossimetro*: apparecchiatura medica in grado di misurare la quantità di emoglobina nel sangue in maniera non invasiva

<sup>189</sup> Nagl L. et al., 2003, *op. cit.*

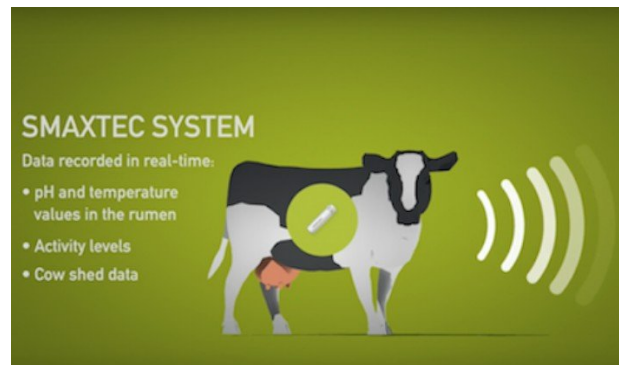
In questi ultimi anni sono numerose le soluzioni WSN che sono state progettate per il monitoraggio del comportamento e della salute degli animali; anche in questo caso, analogamente a quanto scritto in precedenza, una rete WSN per l'allevamento è composta essenzialmente da una rete di sensori, da una serie di *gateway* verso altre reti e da un'unità di controllo (**Figura 40**).<sup>190</sup>



**Figura 40:** WSN per il monitoraggio della salute dei bovini (fonte: Lukkien J. et al., 2007, The WASP Architecture for Wireless Sensor Networks)

sensori consente agli allevatori di valutare in tempo reale il benessere dei loro animali, prendendo rapidamente decisioni che riguardano la loro salvaguardia e sicurezza.<sup>193</sup>

Sono diversi gli studi che propongono l'utilizzo delle reti sensoristiche *wireless* basate sul protocollo *ZigBee*;<sup>194</sup> a tal fine sono state sperimentate diverse configurazioni di sensori al fine di determinare i profili di temperatura, umidità e luminosità ottimali.<sup>195</sup> Il controllo dei parametri ambientali nei quali si svolge l'allevamento è infatti una questione molto importante e ha un impatto rilevante sulla salute e il benessere degli animali, oltre che sulla produttività e sulla qualità dei prodotti in questo settore; una rete WSN può essere utilizzata per gestire in maniera precisa e ottimale, ad esempio, la ventilazione, il riscaldamento,



**Figura 41:** esempio di sensore intracorporeo che, inserito nello stomaco della mucca da latte, misura alcuni parametri della ruminazione trasmettendoli esternamente ad un ricevitore *wireless* (fonte: SmaXtec GmbH)

<sup>190</sup> Mayer K. et al., 2004, Cattle health monitoring using wireless sensor networks

<sup>191</sup> sistema di identificazione di tipo passivo che consente la rilevazione automatica e a distanza di oggetti, animali e persone sia statici che in movimento; la versione semi-attiva può rappresentare un'alternativa solo parziale ai sistemi *wireless* più tradizionali che sono invece in grado di garantire un monitoraggio continuo e la trasmissione di una maggiore quantità di dati

<sup>192</sup> Nagl L. et al., 2003, op. cit.

<sup>193</sup> Mayer K. et al., 2004, op. cit.

<sup>194</sup> Nadimi E. et al., 2008, ZigBee-based wireless sensor networks for monitoring animal presence and pasture time in a strip of new grass

<sup>195</sup> Cugnasca C. et al., 2008, Ad hoc Wireless Sensor Networks applied to animal welfare research

l'illuminazione negli stabili dedicati all'allevamento, aumentando non solo il benessere degli animali ma riducendo drasticamente i consumi energetici e i relativi costi.<sup>196</sup>

#### 4.3.4. Problematiche applicative delle reti WSN

Una rete WSN per uso agricolo e allevativo deve essere progettata per operare in diversi contesti operativi, dalla campagna ai terreni più impervi, ovvero in aree estese con differente topografia e nelle più diverse condizioni ambientali; l'operatività si scontra però con alcuni limiti operativi.<sup>197</sup>

La necessità di posizionare i sensori su aree di grandi dimensioni, con i collegamenti tra i vari nodi molto distanti tra loro, espone queste reti a fenomeni di alterazione del segnale che viene trasmesso tra i vari dispositivi. Infatti la propagazione delle onde radio in un ambiente reale è soggetta a caratteristici problemi di attenuazione delle onde elettromagnetiche; all'interno degli edifici come granai, serre o stalle si deve considerare che il segnale radio attraversa oggetti "solidi" come muri, finestre, macchinari, ecc. che possono influire negativamente sulla potenza del segnale.<sup>198</sup>

In relazione all'ambiente operativo, una attenuazione rilevante avviene a quelle frequenze più sensibili all'allineamento tra apparato trasmettitore e ricevitore. In linea generale questi fenomeni si verificano all'aumentare delle frequenze trasmissive alle quali corrispondono lunghezze d'onda più corte; per questa ragione la frequenza dei 2.4 GHz è più critica rispetto a quella dei 900 MHz.<sup>199</sup>

##### Influenza della copertura fogliare

L'attenuazione del segnale non avviene solo a causa dei manufatti umani; la propagazione e la forza delle onde radio risulta fortemente influenzata anche a causa di fenomeni di assorbimento e riflessione che avvengono tra le foglie delle piante.<sup>200</sup> Facendo riferimento alla **Figura 42** le onde radio che attraversano una singola foglia subiscono fenomeni di assorbimento (A) e riflessione (R) che attenuano e indeboliscono il segnale trasmesso (T). Siccome la copertura vegetale in un campo è soggetta ad una variabilità stagionale ne consegue che, in alcuni periodi, la qualità delle trasmissioni risulta migliore; in relazione alla tipologia delle colture è nei mesi estivi, quando la copertura vegetale delle piante raggiunge il suo massimo, che la propagazione delle onde radio risulta più difficoltosa.<sup>201</sup>



**Figura 42:** comportamento delle onde radio attraverso delle foglie (fonte: *Olufemi A. et al.*, 2013, *op. cit.*)

<sup>196</sup> Cugnasca C. et al., 2008, *op. cit.*

<sup>197</sup> Garcia L. et al., 2009, *op. cit.*

<sup>198</sup> *ibidem*

<sup>199</sup> *ibidem*

<sup>200</sup> Olufemi A. et al., 2013, UHF band radio wave propagation mechanism in forested environments for wireless communication systems

<sup>201</sup> *ibidem*

Come esempio, alcuni studi applicati alla coltura della soia o del grano hanno dimostrato che nel campo della trasmissione dei 2.4 GHz, frequenza comune a molti dispositivi che utilizzano il protocollo *Bluetooth*, la distanza ottimale dei trasmettitori, per non essere influenzati negativamente dalla copertura fogliare, dovrebbe essere di circa 1 metro e mezzo misurata dal suolo.<sup>202</sup> Altri studi hanno dimostrato che in un campo asciutto, dove le piante hanno la massima copertura fogliare, la distanza che le onde radio possono coprire è di 11 metri con il dispositivo posizionato vicino al suolo.<sup>203</sup> Da queste rilevazioni si stima che, per la copertura completa di un campo coltivato, sono necessari almeno 100 nodi per ettaro.

### **Errori di trasmissione e misura**

Un altro limite importante delle reti WSN riguarda gli errori di trasmissione e di misura; nelle applicazioni di *remote sensing* i dispositivi possono generare misure falsate o si possono presentare errori nella trasmissione dei dati tra i diversi nodi. Dato che il tasso di dati persi ha un'importanza cruciale nel misurare il livello di *performance*, è necessario che ogni dispositivo sia dotato degli adeguati sistemi per la correzione degli errori.<sup>204</sup>

### **Influenza del clima**

La perdita di segnale dovuta alle condizioni atmosferiche è un altro dei fattori limitanti che deve essere tenuto nella dovuta considerazione. L'uso di sensori o dispositivi collocati in esterno deve per forza tenere conto degli effetti di umidità, condensa e pioggia che a loro volta possono avere un effetto sulle trasmissioni dei segnali.<sup>205</sup> Anche la temperatura ambientale ha influenza sulle *performance* dei dispositivi radio: ad esempio è ben documentato come le basse temperature hanno effetti negativi sulle batterie e una differenza di 20° C è in grado di dimezzarne l'operatività.<sup>206</sup>

Quando si decide di far lavorare dispositivi a frequenze sensibili ai fattori ambientali, la soluzione pratica e più semplice per ovviare agli inconvenienti sopra descritti, sia che si tratti della copertura fogliare, del clima o degli errori di trasmissione, è quella di prevedere il maggior numero di nodi possibile in grado di comunicare tra loro e verso la stazione base.<sup>207</sup> Un'altra soluzione è quella di utilizzare frequenze diverse da quelle impiegate per la sensoristica di tipo commerciale (ad esempio quella dei 868 o dei 916 MHz), sviluppando dispositivi con maggiore potenza trasmissiva e in grado di coprire distanze più ampie; la trasmissione può infine essere migliorata con una adeguata ottimizzazione dell'orientamento, della forma e della configurazione delle varie antenne.<sup>208</sup>

<sup>202</sup> Meng Y. et al., 2010, Investigation of foliage effect on modern wireless communication systems

<sup>203</sup> Goense D. et al., 2005, Wireless sensor networks for precise phytophthora decision support

<sup>204</sup> Garcia L. et al., 2009, op. cit

<sup>205</sup> *ibidem*

<sup>206</sup> Olufemi A. et al., 2013, op. cit.

<sup>207</sup> *ibidem*

<sup>208</sup> *ibidem*



### 4.3.5. Conclusioni

Come è stato dimostrato, le applicazioni della tecnologia delle reti WSN possono essere diverse. In campo agricolo queste reti sono in grado di portare innegabili vantaggi rispetto a quanto possibile con i sistemi più convenzionali; la portata di questi vantaggi può essere ancora più grande se agli aspetti tecnologici si affiancano anche le giuste conoscenze agronomiche o in campo allevativo.<sup>209</sup>

Le reti WSN sono inoltre in grado di migliorare il funzionamento dei sistemi di prima emergenza e di manutenzione preventiva, ottimizzandone la gestione energetica conservando traccia degli eventi.

Il loro funzionamento, se pensato secondo logiche sinergiche e collaborative, è sicuramente il fattore chiave che permetterà di sviluppare le potenzialità di queste tecnologie.<sup>210</sup> Ad ogni modo vi sono ancora molti aspetti che devono essere migliorati; tra questi la durata delle batterie, l'affidabilità delle misure e le *performance* in ambienti che richiedono la capacità di acquisire le informazioni in tempo reale. Rimane invece ancora aperta la questione di come gestire in modo innovativo la grande quantità di dati prodotti da questi dispositivi, informazioni che hanno poi la necessità di essere raccolte e interpretate correttamente.<sup>211</sup>

Come si vedrà più avanti, le soluzioni possibili per ovviare a questa problematica sono varie: innanzitutto è necessario affidarci a tecnologie trasmissive sempre più veloci e affidabili, ma si deve anche pensare di migliorare le capacità di elaborazione locali dei singoli dispositivi; non ultimo è necessario migliorare la capacità di gestione dei dati entrando nel merito di come questi vengono prodotti.<sup>212</sup> Infine vi è la necessità di conoscere l'affidabilità temporale di questi sistemi, cosa che sarà possibile solo attraverso una sperimentazione di lungo periodo delle applicazioni attualmente in esercizio.<sup>213</sup>

## 4.4. Tecniche innovative per riconoscere i disturbi nelle piante

Vi è una grande richiesta di metodi innovativi per l'identificazione delle patologie vegetali che siano veloci, selettive e ad alta sensibilità.<sup>214</sup> Come è facile immaginare, la capacità di offrire un'analisi rapida, accurata e affidabile, consente a chi opera in questo settore di fronteggiare prontamente il danno causato da queste malattie mediante l'attuazione di valide strategie per il loro contenimento; in campo agronomico tutto questo si traduce in benefici economici e produttivi.<sup>215</sup> La rilevazione dei disturbi nelle piante può essere attuata con metodi diretti e indiretti; tra i vari disponibili si possono elencare quelli che si basano sulle tecniche di diagnosi molecolare, sull'analisi dei composti organici volatili e quelli che utilizzano le tecniche del *remote sensing* e dell'analisi spettroscopica.

---

<sup>209</sup> Garcia L. et al., 2009, *op. cit*

<sup>210</sup> *ibidem*

<sup>211</sup> si veda il Paragrafo 5.2 sulla questione dei *Big data*

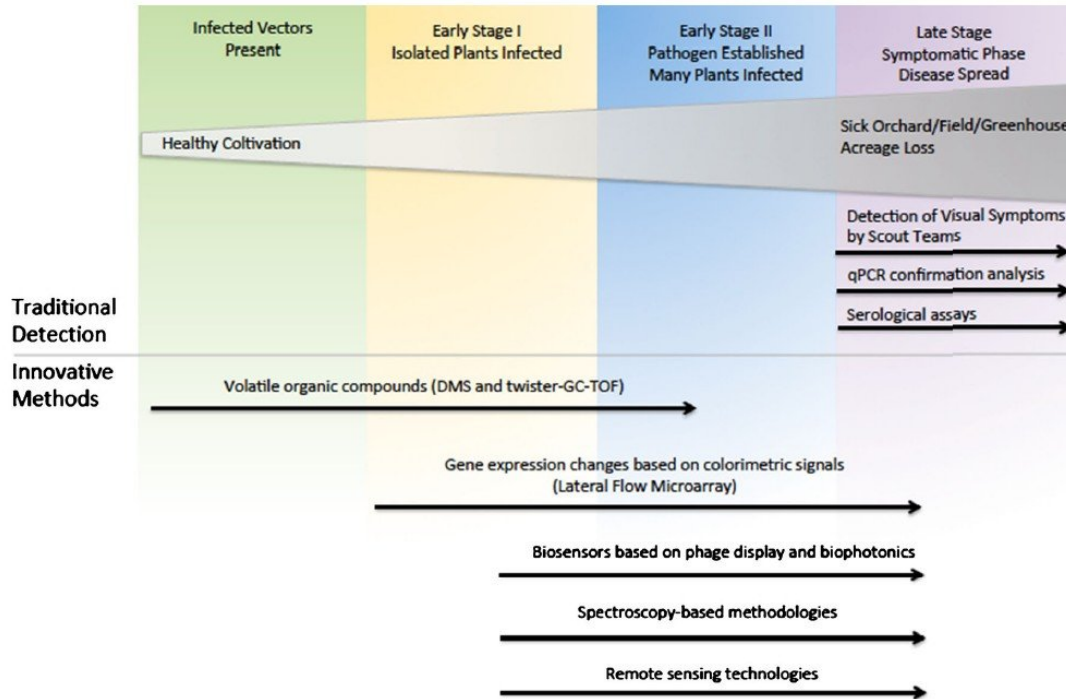
<sup>212</sup> *cfr.* il Paragrafo 5.2.1

<sup>213</sup> Garcia L. et al., 2009, *op. cit*

<sup>214</sup> Infantino A. et al., 2010, Tecniche di diagnosi innovative per i principali patogeni delle specie ornamentali

<sup>215</sup> *ibidem*

Facendo riferimento alla **Figura 43**, rispetto a quelle definibili come "tradizionali" che implicano che la rilevazione dei sintomi sia svolta da parte di esperti mediante prelievi diretti sulle piante, la maggior parte di queste tecniche innovative si distingue per la capacità di riconoscere eventuali patologie nei primi stadi del loro sviluppo, quando gli agenti patogeni sono presenti solo su pochi esemplari e non hanno ancora avuto il tempo di diffondersi.<sup>216</sup>



**Figura 43:** confronto tra metodi tradizionali e innovativi per determinare lo stato di salute delle piante; è evidente come alcune tecniche (VOC) permettono una identificazione degli agenti patogeni già nei primi stadi della loro diffusione (fonte: *Martinelli F. et al., 2015, op. cit.*)

In questa lavoro vengono descritte alcune di queste tecniche in particolar modo quelle che, per dimensioni, ingombri degli strumenti che ne permettono l'impiego sul campo, potrebbero essere facilmente integrate su una piattaforma mobile come un *drone* o un *rover*.<sup>217</sup>

#### 4.4.1. Tecniche molecolari

Per la rilevazione delle patologie vegetali possono essere utilizzate tecniche molecolari di diverso tipo; la loro sensibilità è riferita alla quantità minima di microrganismi che possono essere rilevati in un campione. Tra le tecniche molecolari più comunemente utilizzate per le indagini patologiche si può annoverare quella denominata ELISA<sup>218</sup>, la PCR<sup>219</sup> e la *real-time* PCR. Altre includono la

<sup>216</sup> *Martinelli F. et al., 2015, Advanced methods of plant disease detection. A review*

<sup>217</sup> *Sankarana S. et al., 2010, A review of advanced techniques for detecting plant diseases*

<sup>218</sup> ELISA (*Enzyme Linked Immunosorbent Assay*): si tratta di un metodo di analisi usato in biochimica per rilevare la presenza di una sostanza appartenente ad un patogeno

<sup>219</sup> PCR (*Polymerase Chain Reaction*): è una tecnica di biologia molecolare che consente di rivelare contaminazioni e eventuali malattie genetiche nelle piante

*immunofluorescenza*, la *citometria a flusso*<sup>220</sup> e la fluorescenza. Queste tecniche richiedono l'impiego di reagenti che devono essere adattati per rilevare patogeni specifici; si tratta quindi di strumenti affidabili per accertare la presenza di patologie, ma non possono essere usate come strumenti per l'esame di grandi quantità di campioni vegetali a causa del tempo necessario per la loro preparazione.<sup>221</sup>

#### 4.4.2. Tecniche spettroscopiche

Recenti sviluppi nelle tecnologie agro-colturali hanno portato alla ricerca di nuovi metodi non distruttivi di rilevazione degli agenti patogeni. È auspicabile che questi strumenti siano rapidi e specifici per la particolare patologia che deve essere identificata e con una sensibilità tale da consentire la rivelazione dei sintomi già nelle prime fasi del loro sviluppo. Per la determinazione di patologie in piante e alberi si utilizzano la spettroscopia e le *tecniche di imaging*<sup>222</sup> come metodi principali; queste tecniche possono essere applicate per identificare livelli di *stress* e deficit di nutrienti e esistono applicazioni anche per monitorare la qualità di frutta e verdura nelle fasi successive del raccolto.

Sono state sviluppate varie tecniche particolari per la rivelazione di patologie vegetali tra le quali l'*imaging* a fluorescenza, spettrale e multispettrale, la spettroscopia infrarossa, a fluorescenza, visibile e multibanda e la spettroscopia NMR.<sup>223</sup> Le attuali attività di ricerca sono rivolte a far sì che queste tecnologie siano trasportabili e possano avere un impiego *sul campo*.<sup>224</sup> Le tecniche spettroscopiche e i dispositivi in grado di attuarle, sono tra le metodologie che potrebbero essere più facilmente integrate in veicoli mobili capaci di raccogliere informazioni sulla diffusione delle patologie vegetali già nei primi stadi del loro sviluppo, permettendo quindi di controllarne la diffusione.<sup>225</sup>

#### Spettroscopia a fluorescenza

È un tipo di spettroscopia dove la *fluorescenza*<sup>226</sup> emessa dall'oggetto di interesse è misurata dopo essere stata colpita da un fascio di luce, di solito nello spettro dell'ultravioletto. Le foglie verdi producono due tipi di fluorescenza: quella blu-verde nell'intervallo dei 400-600 nano metri (nm), e quella delle clorofille nell'intervallo dei 650-800 nm. Nel corso degli ultimi anni la fluorescenza indotta da laser è stata usata spesso per indagini vegetali e per il monitoraggio dei livelli di *stress* e per determinare lo stato fisiologico nelle piante. La spettroscopia a fluorescenza può essere utilizzata anche per monitorare i deficit nutrizionali delle piante attraverso pratici strumenti portatili (**Figura 44**).

<sup>220</sup> *citometria a flusso*: è una tecnica che permette l'analisi sulle cellule di più parametri simultaneamente, sia di tipo fisico che chimico

<sup>221</sup> Sankarana S. et al., 2010, *op. cit.*

<sup>222</sup> *tecniche di imaging*: procedure atte a registrare o produrre immagini per fini scientifici o medicali

<sup>223</sup> spettroscopia NMR: è una tecnica analitica che si basa sulla Risonanza Magnetica Nucleare (NMR) che permette di ottenere dettagliate informazioni sulla struttura molecolare dei composti in esame

<sup>224</sup> *cf.* il Paragrafo 8.3.2 sullo stato dell'arte e sullo sviluppo di queste tecniche

<sup>225</sup> Sankarana S. et al., 2010, *op. cit.*

<sup>226</sup> *fluorescenza*: proprietà di alcune sostanze di riemettere le radiazioni elettromagnetiche ricevute, ad esempio l'emissione nel visibile delle radiazioni assorbite nell'ultravioletto

### Spettroscopia visibile e all'infrarosso

Simile a quella a fluorescenza, anche la spettroscopia visibile e all'infrarosso viene usata come metodo rapido, non distruttivo e economicamente conveniente per la rilevazione delle patologie vegetali. È una tecnologia in rapido sviluppo, che può essere impiegata in vari ambiti, soprattutto quando devono essere rilevati fenomeni di stress determinati dalle ferite e dalle malattie vegetali.

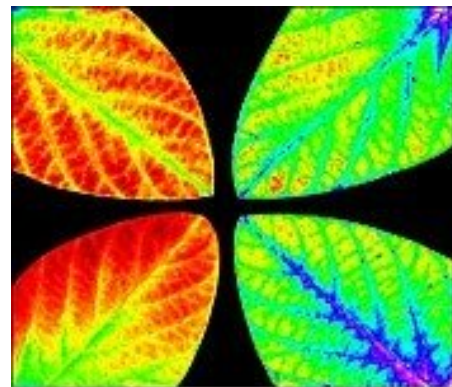
E' noto che la regione del visibile e dell'infrarosso dello spettro elettromagnetico può fornire informazioni circa i livelli di *stress* fisiologico nelle piante; alcuni di questi intervalli di lunghezza d'onda, specifici per alcune patologie, possono essere usati per identificarle efficacemente.<sup>227</sup> In generale, per la rivelazione di queste patologie, viene impiegata la spettroscopia visibile in combinazione a quella all'infrarosso. Per la loro identificazione vengono usati dei modelli statistici di classificazione e, in aggiunta a questi modelli, le analisi basate sulla spettroscopia utilizzano anche indici vegetativi per la valutazione delle variazioni nella *riflettanza spettrale*<sup>228</sup> in presenza di differenti condizioni fisiologiche (piante malate o in salute) come l'indice NDVI e altri.<sup>229</sup>



**Figura 44:** Fluorometro portatile per la misurazione sul campo dello *stress* delle piante (fonte: Opti-Sciences Inc.)

### Immagini a fluorescenza

Se sottoposti a eccitazione ultravioletta anche i cambiamenti nella fluorescenza blu/verde e la fluorescenza della clorofilla possono fornire lo stato delle condizioni fisiologiche di un vegetale.<sup>230</sup> Facendo riferimento alla **Figura 45**, con questa tecnica può essere evidenziata la minore efficienza fotosintetica (colore blu/verde) di alcune piante a elevati livelli di ozono. Le immagini a fluorescenza sono un miglioramento delle tecniche di spettroscopia descritte precedentemente: le immagini invece che da un singolo spettro sono ottenute usando uno spettro elettromagnetico più ampio. Come sorgenti di luce fluorescente vengono usate lampade allo *xenon* o alogene, e la risposta a specifiche lunghezze d'onda è registrata usando un sistema di acquisizione ottica dotato di un sensore CCD.<sup>231</sup> In questo caso la tecnica di *imaging* è un miglioramento rispetto alla spettroscopia, poiché questo metodo acquisisce informazioni su di uno spettro più ampio ed è in grado di fornire un'interpretazione tridimensionali dei fenomeni.



**Figura 45:** applicazione della tecnica della fluorescenza per evidenziare l'efficienza fotosintetica di un vegetale (fonte: Nasa Earth Observatory)

<sup>227</sup> Sankarana S. et al., 2010, op. cit.

<sup>228</sup> *riflettanza spettrale*: modo caratteristico in cui diverse superfici riflettono la luce

<sup>229</sup> NDVI: uno degli indici di vegetazione utilizzati per determinare l'attività fotosintetica delle piante; cfr. il Paragrafo 4.2.1

<sup>230</sup> Sankarana S. et al., 2010, op. cit.

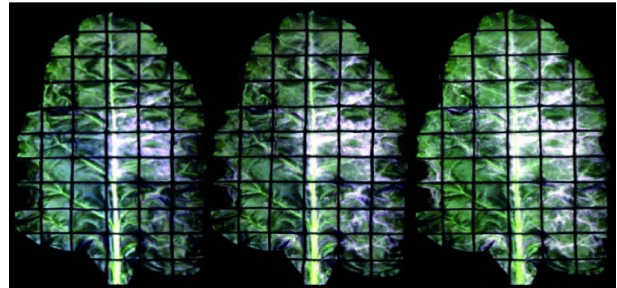
<sup>231</sup> sensore CCD: una delle due tecnologie (l'altra è quella CMOS) che sono alla base dei sistemi di acquisizione delle immagini digitali

## Immagini iperspettrali

In anni recenti le immagini iperspettrali hanno riscosso un notevole interesse per le loro applicazioni nell'agricoltura di precisione. Con questa tecnica la *riflettanza* di ogni *pixel* è acquisita in un certo intervallo di lunghezza d'onda dello spettro elettromagnetico che può includere la regione del visibile o quella dell'infrarosso.

L'immagine iperspettrale è simile alla multispettrale: la differenza consiste in un maggiore numero di bande spettrali che vengono scansionate per ogni *pixel*.<sup>232</sup> Facendo riferimento alla **Figura 46** la tecnica dell'analisi iperspettrale permette, ad esempio, di evidenziare la concentrazione crescente di funghi patogeni in una pianta anche attraverso il confronto tra immagini acquisite in momenti temporali diversi.<sup>233</sup>

Questa metodologia può essere utilizzata per monitorare la qualità dei prodotti alimentari e per sviluppare sistemi di visione automatica.<sup>234</sup> Una delle maggiori sfide nella rilevazione delle patologie vegetali basate su questa tecnica riguarda la selezione di bande



**Figura 46:** concentrazione crescente di funghi patogeni in una pianta evidenziata attraverso la tecnica dell'analisi iperspettrale (fonte: Mahlein A. et al., 2012, op. cit.)

spettrali che siano specifiche della patologia che si vuole individuare; diventa quindi importante la scelta di adeguati e specifici algoritmi di classificazione statistica, oltre che un'ottimizzazione delle impostazioni di acquisizione e delle condizioni operative nei quali il sensore si trova ad operare.<sup>235</sup>

## Altre tecniche di *imaging*

Altre tecniche che possono essere usate per rilevare alcune comuni patologie vegetali sono la termografia infrarossa (IR), la spettroscopia ad altissime frequenze, quella NMR e quella a raggi X.<sup>236</sup> La termografia IR si riferisce ad una tecnica di *imaging* che utilizza l'energia termica della banda infrarossa e trasforma le informazioni ottenute in immagini visibili; anche questa, come le altre tecniche, può essere usata per il monitoraggio non distruttivo dello stato fitopatologico delle piante. Le tecniche di *imaging* basate su NMR e raggi X possono anche essere usate per rivelare infezioni, vari tipi di *stress* e altre condizioni di salute in alberi e frutti.<sup>237</sup>

### 4.4.3. Composti organici volatili (VOC) e disturbi delle piante

Le sostanze volatili rilasciate da piante e alberi, definite come Composti Organici Volatili (*Volatile Organic Compounds*) in breve VOC, costituiscono almeno i 2/3 del totale delle emissioni gassose vegetali nell'atmosfera (**Figura 47**).<sup>238</sup>

<sup>232</sup> Sankarana S. et al., 2010, op. cit.

<sup>233</sup> Mahlein A. et al., 2012, Hyperspectral imaging for small-scale analysis of symptoms caused by different sugar beet diseases

<sup>234</sup> Sankarana S. et al., 2010, op. cit.

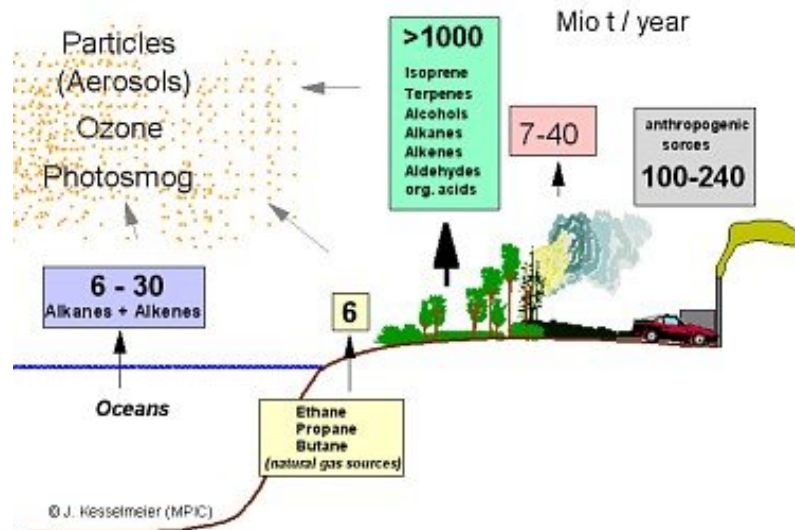
<sup>235</sup> *ibidem*

<sup>236</sup> *ibidem*

<sup>237</sup> cfr. il Paragrafo 8.3.2 per alcuni esempi applicativi delle tecniche spettroscopiche

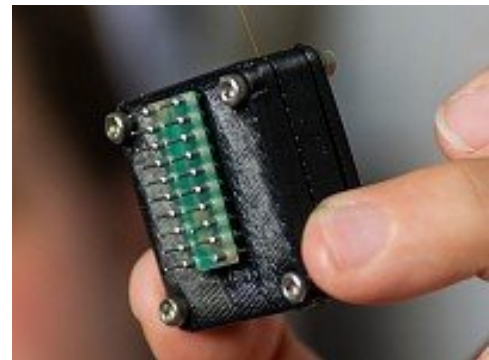
<sup>238</sup> cfr. Kesselmeier J. / Max Planck Institut, Emissione globale di VOC in ICONOGRAFIA

Ci sono diversi fattori che influiscono nella composizione del profilo dei composti volatili prodotti dai vegetali: i VOC emessi dalla piante sono dipendenti da vari fattori chimico-fisici come umidità, temperatura, luce, condizioni del suolo e livello di fertilizzazione, così come da fattori biologici quali la crescita e lo stadio di sviluppo della pianta, la presenza di insetti e di altri vegetali; tutti questi fattori sono in grado di influire direttamente o indirettamente sulle condizioni fisiologiche della pianta.



**Figura 47:** emissione globale di VOC in milioni di tonnellate per anno  
(fonte: Kesselmeier J. / Max Planck Institut, op.cit.)

Le emissioni dei composti volatili influiscono nell'interazione tra piante e altri organismi, inclusi quelli patogeni. C'è una ampia varietà di VOC emessi dai vegetali e che sono in grado di caratterizzare le loro interazioni biotiche o abiotiche: tra i più comuni vi sono i *tarpenoidi*,<sup>239</sup> gli acidi grassi volatili, i *fenil-propanoidi*,<sup>240</sup> i *benzenoidi* e gli *aminoacidi volatili*.<sup>241</sup> Alcuni *stress* biotici e abiotici possono comportare variazioni nell'emissione di questi composti; le emissioni variano quando la pianta è infettata da una patologia essendo diverse rispetto ai VOC rilasciati in normali condizioni di salute. L'identificazione di una patologia è quindi possibile solo se si sono predeterminati una serie di profili di riferimento che vengono confrontati con quelli acquisiti al momento della rilevazione.<sup>242</sup> Questa metodologia può facilitare la diagnosi di molte patologie vegetali permettendo di svolgere questa attività in maniera precisa, puntuale e in tempo reale, potendone inoltre prevedere la diffusione, fattore che può produrre notevoli vantaggi economici per



**Figura 48:** sensore miniaturizzato per l'analisi dei VOC (fonte: Iozzio C., 2014, op. cit.)

<sup>239</sup> *tarpenoidi*: bio molecole prodotte da molte piante, soprattutto conifere e da alcuni insetti, componenti principali delle resine e degli oli essenziali e che conferiscono a ogni fiore o pianta un caratteristico odore o aroma

<sup>240</sup> *fenil-propanoidi*: composti aromatici implicati nelle funzioni di crescita e di difesa delle piante

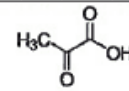
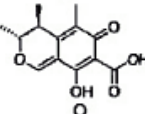
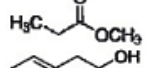
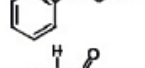
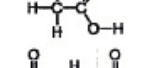
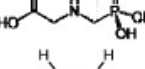
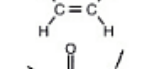
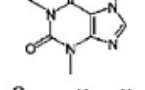
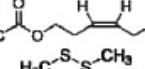
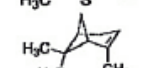
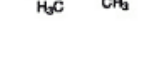
<sup>241</sup> *benzenoidi* e *aminoacidi volatili*: metaboliti secondari delle piante che vengono utilizzati per facilitare i processi riproduttivi

<sup>242</sup> Wilson A., Baietto M., 2009, Applications and Advances in Electronic-Nose Technologies

qualsiasi sistema agro-culturale.<sup>243</sup> E' possibile l'installazione di questi strumenti su piattaforme mobili, anche autonome, grazie al fatto che questi dispositivi sono stati oggetto in questi anni di un notevole processo di integrazione e miniaturizzazione (**Figura 48**).<sup>244</sup>

### Nasi elettronici

Un naso elettronico o olfattimetro (*Electronic Nose*, per brevità EN), consiste in una serie di sensori (*array*) che sono stati resi sensibili ad una certa varietà di composti organici volatili. Poiché ogni sensore ha una sensibilità specifica, il loro utilizzo in serie che unisca le loro capacità selettive, può essere utile per individuare differenti tipologie di composti presenti nell'atmosfera (**Figura 49**).<sup>245</sup>

Volatile chemical types	Example compound	Chemical structure	Common source/use
Biochemical	pyruvic acid		Cellular metabolite
Food products	citrinin		Mycotoxin contaminant
Floral	methyl propionate		Flower fragrance
Fruit	2-phenylethanol		Wine volatile
Microbial	acetic acid		Fermentation product
Pesticides	glyphosate		Herbicide
Plant hormones	ethylene		Fruit-ripening hormone
Secondary metabolites	caffeine		Plant alkaloid
Vegetative	hexenyl acetate		Leaf volatile
Waste	dimethyl disulfide		Paper byproduct
Wood	α-pinene		Wood volatile

**Figura 49:** tipi principali di VOC che possono essere identificati dai nasi elettronici in campo agricolo (fonte: *Wilson A., Baietto M., 2009, op. cit.*)

Gli EN vengono già utilizzati per una serie di applicazioni, ad esempio nella determinazione della qualità del cibo, potendo rilevare la presenza di specifici microrganismi nei prodotti alimentari. L'impiego di sistemi EN per l'identificazione di patologie vegetali è un campo di applicazione relativamente nuovo ma sono comunque diversi gli studi che propongono l'individuazione dei VOC attraverso i nasi elettronici impiegando insieme una serie di tecniche statistiche avanzate.<sup>246 247</sup>

<sup>243</sup> *Wilson A., Baietto M., 2009, op. cit.*

<sup>244</sup> *Iozzio C., 2014, Robots that can sniff out crop disease*

<sup>245</sup> *Wilson A., Baietto M., 2009, op. cit.*

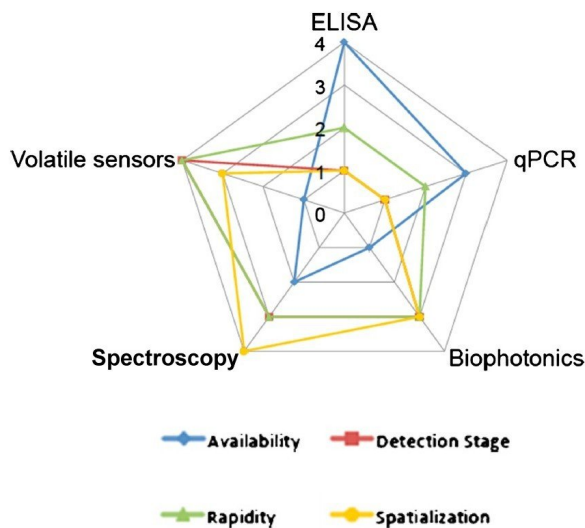
<sup>246</sup> *ibidem*

## Gas cromatografia - Spettrometria di massa (GC-MS)

La gas cromatografia - spettrometria di massa (in breve GC-MS) è un'altra tecnica che potrebbe usata per l'analisi qualitativa e quantitativa di *metaboliti* volatili<sup>248</sup> emessi dalle piante in differenti condizioni fisiologiche e ambientali. Gli studi basati su questa tecnica sono stati condotti soprattutto per valutare i cambiamenti nei composti volatili causati da batteri o infezioni da funghi su diversi prodotti alimentari ma la sua applicazione è senz'altro possibile e promettente anche in campo vegetale.<sup>249</sup>

### 4.4.4. Prospettive

Come appare evidente in **Figura 50**, nel confronto tra le varie tecniche disponibili per la determinazione delle condizioni fito-patologiche delle piante, l'analisi dei composti volatili (VOC) e delle variazioni nella riflettanza spettrale (analisi spettroscopica), sono le tecniche che sulla carta risultano le più promettenti quando i fattori in gioco sono la capacità di identificare le patologie vegetali nei loro primissimi stadi e la rapidità con cui viene svolta questa attività.<sup>250</sup> Anche quando entra in gioco il fattore



**Figura 50:** confronto tra i vari metodi disponibili per la determinazione delle patologie vegetali (fonte: *Martinelli F. et al.*, 2015, *op. cit.*)

"spazialità" del dato, cioè quando viene associato il valore geografico alle informazioni raccolte, queste due tecniche risultano superiori alle altre. Il punto debole è che si tratta appunto di strumenti innovativi ancora in fase di sviluppo, che al momento non è possibile utilizzare larga scala a causa dei costi di impiego.<sup>251</sup>

Vi sono inoltre altre questioni che devono essere tenute in considerazione: come si è visto precedentemente, piante e alberi emettono VOC come risultato delle attività metaboliche che hanno sede nei germogli, nelle foglie, nei fiori o nei frutti; ogni pianta possiede un proprio profilo VOC che differisce da quello delle altre perchè dipende dalle condizioni fisiologiche generali e dalla

specie di appartenenza. In definitiva sono molti i fattori che influenzano i profili di VOC di una particolare pianta o albero, come ad esempio le variazioni nel metabolismo vegetale quale risultato di cambiamenti ambientali, oppure l'età della pianta, il suo stadio di sviluppo, gli effetti dovuti allo *stress* o la

<sup>247</sup> Ghaffari R. et al., 2011, Detection of diseases and volatile discrimination of plants: an electronic nose and self-organizing maps approach

<sup>248</sup> *metabolita*: prodotto del processo del metabolismo cioè dall'insieme delle trasformazioni chimiche dedicate al sostegno vitale delle cellule negli organismi viventi

<sup>249</sup> *Martinelli F. et al.*, 2015, *op. cit.*

<sup>250</sup> *ibidem*

<sup>251</sup> *ibidem*



presenza di malattie o l'azione degli erbivori. Una delle sfide nell'impiego dei composti organici volatili, quali indicatori della presenza di patologie vegetali, è quella della misurazione della naturale variazione negli specifici profili entro una determinata specie di piante.<sup>252</sup> Tali variazioni, per essere significative, necessitano di *biomarcatori*<sup>253</sup> specifici per ciascuna pianta e per ogni determinata malattia, in modo tale da ridurre il rischio di confondere VOC che presentino valori simili.<sup>254</sup> Quindi, per un utilizzo pratico di questa tecnica, è necessario che vengano sviluppati sistemi che garantiscano attendibilità e affidabilità nel processo di analisi dei fenomeni.

Similmente a quanto avviene per i VOC, anche la riflettanza spettrale è influenzata dalle condizioni ambientali:<sup>255</sup> per limitare l'effetto di disturbo di questi fattori si possono percorrere più strade e una di queste è quella di identificare un intervallo di lunghezze d'onda, o degli indici, che non siano sensibili alla specifica patologia vegetale e che non vengano troppo influenzati dalle variazioni delle condizioni ambientali.

Riassumendo, le problematiche che si pongono nell'applicazione di queste due tecniche sono:<sup>256</sup>

- gli effetti delle condizioni ambientali sui dati raccolti;
- la necessità di una loro ottimizzazione e contestualizzazione per specifiche specie vegetali;
- il bisogno di automatizzare i processi affinché sia possibile un monitoraggio continuo delle patologie vegetali.

I metodi di rivelazione delle condizioni fito-patologiche vegetali finora descritti, oltre alla capacità di rilevare in maniera accurata molte malattie delle piante, mostrano grandi potenzialità dato che alcune di queste tecniche sono già largamente utilizzate in applicazioni industriali; è quindi del tutto possibile che questi strumenti possano essere facilmente imbarcati su di una piattaforma mobile che può essere resa capace di rilevare e monitorare le patologie vegetali in modo continuo e puntuale.<sup>257</sup>

## 4.5. Laboratory-on-chip (LOC): la frontiera dell'analisi strumentale

I dispositivi definiti con il termine *Laboratory-on-chip* o più semplicemente LOC, fanno parte di quella famiglia di prodotti conosciuta come MEMS (*Micro-Electro-Mechanical Systems*); i dispositivi MEMS sono costituiti da diversi strumenti integrati (meccanici, elettrici ed elettronici) di dimensioni estremamente ridotte che sono in grado di svolgere misurazioni sui fenomeni fisici traducendo le grandezze acquisite in impulsi elettrici.<sup>258</sup>

---

<sup>252</sup> Sankarana S. et al., 2010, op. cit.

<sup>253</sup> *biomarcatore*: è una sostanza che permette di individuare e isolarne delle altre

<sup>254</sup> Sankarana S. et al., 2010, op. cit.

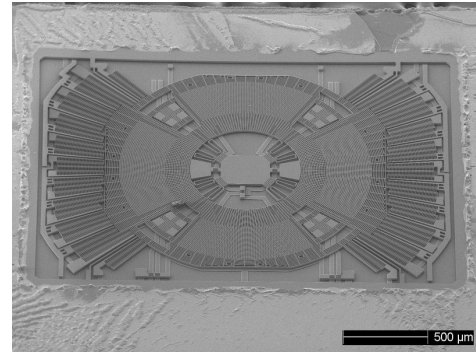
<sup>255</sup> *ibidem*

<sup>256</sup> *ibidem*

<sup>257</sup> *ibidem*

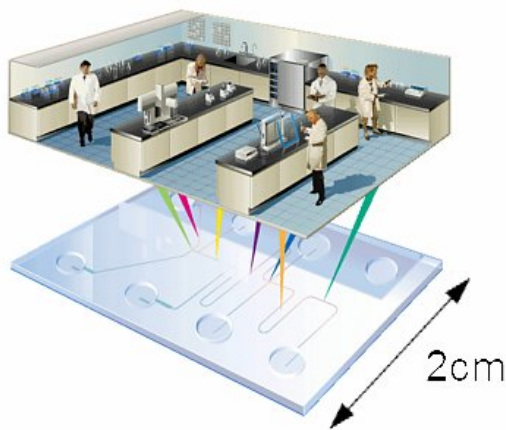
<sup>258</sup> Iandelli N., 2011, op. cit.

I fenomeni fisici che possono essere rilevati sono: suono, accelerazione, pressione, temperatura, pH, umidità, CO<sub>2</sub>, intensità di flusso magnetico, ecc. Queste grandezze sono generalmente misurate attraverso dispositivi elettronici tipo accelerometri, sensori ad ultrasuoni, sensori di gas, microbilance, ecc. realizzati con tecniche di lavorazione di micro-meccanica con la precisione del *micron* (**Figura 51**). I dispositivi LOC in particolare, appartengono a quei sistemi di controllo rappresentati da micropompe, valvole e sensori che utilizzano la meccanica dei fluidi (micro-fluidodinamica), che tratta del comportamento e della manipolazione di fluidi su scala micrometrica, per produrre dispositivi che, analogamente a quanto svolto dai MEMS in campo elettro-fisico, svolgono funzioni di misura in campo bio-chimico.<sup>259</sup>



**Figura 51:** giroscopio MEMS utilizzato per determinare la rotazione dello schermo in un dispositivo mobile (fonte: Techinsights.com)

La ricerca sui LOC ha subito un'accelerazione all'inizio degli anni novanta, con lo sviluppo di applicazioni nel campo della genomica, e grazie a gruppi di ricerca che hanno sviluppato micropompe e sensori di flusso introducendo il concetto del trattamento integrato dei fluidi per i sistemi di analisi.



**Figura 52:** esemplificazione del concetto di Laboratory-on-chip (fonte: Sharp Laboratories of Europe)

Recentemente questa tecnologia, sull'onda della tendenza ad una sempre maggiore miniaturizzazione dei dispositivi, si sta spingendo verso le nanotecnologie dalle quali il termine NEMS (Nano-Electro-Mechanical Systems).<sup>260</sup> In riferimento proprio alla scala nanometrica, i ricercatori hanno sviluppato una nuova tecnologia che, per la prima volta, può separare le particelle biologiche ed è quindi potenzialmente in grado di rilevare patologie, ad esempio le neoplasie, prima della comparsa dei loro sintomi e in una fase temporale in cui l'applicazione di eventuali cure può essere molto più efficace.<sup>261</sup>

In ambito medico o di analisi quindi, lo sviluppo di soluzioni che si basano su tecnologie LOC può diventare uno strumento diagnostico estremamente utile

in quanto questi dispositivi possono essere significativamente più veloci, portabili e facili da utilizzare dei sistemi attuali, nonché richiedere volumi estremamente inferiori di campioni per la misurazione dei fenomeni.<sup>262</sup> L'obiettivo ambizioso è quello di arrivare a concentrare in un singolo *chip* tutti i processi necessari a svolgere le operazioni che normalmente richiederebbero il supporto di un vero e proprio laboratorio biochimico (**Figura 52**).

<sup>259</sup> *cfr.* voce AzoNano, What is a Lab-on-a-Chip? in SITOGRAFIA

<sup>260</sup> *ibidem*

<sup>261</sup> Stolovitzky G., 2017, Medical labs “on a chip” will serve as health detectives for tracing disease at the nanoscale

<sup>262</sup> *ibidem*

### 4.5.1. Vantaggi dei dispositivi LOC

I dispositivi LOC presentano alcuni rilevanti vantaggi quali la compattezza, la portabilità, la modularità, la possibilità di essere riconfigurati, la capacità interna di elaborazione, il consumo ridotto di energia e il grande livello di interazione dei componenti interni. Inoltre questi dispositivi richiedono una minima quantità di campioni e di sostanze reagenti e la caratteristica di essere dei dispositivi incapsulati riduce la possibilità di contaminazione dei campioni.<sup>263</sup> I dispositivi LOC sono in grado di supportare un ampio numero di operazioni come il campionamento, l'instradamento, il trasporto e la possibilità di dispensare e mescolare sostanze; queste attività sono svolte nella maggior parte dei casi con ridotti movimenti dei componenti ed è per questo motivo che la loro durata e usabilità risulta essere molto elevata.<sup>264</sup> Grazie all'utilizzazione di *processi elettrocinetici*,<sup>265</sup> e in virtù delle loro dimensioni estremamente ridotti, i dispositivi LOC sono in grado di garantire un trasporto fluido e preciso, oltre che una separazione efficiente, dei campioni liquidi e una notevole precisione nella loro misurazione.<sup>266</sup> Sono inoltre in grado di svolgere il lavoro di analisi in maniera parallela e su differenti campioni, cosicché possono essere considerati strumenti molto efficienti.<sup>267</sup>

In un prossimo futuro i dispositivi LOC saranno utilizzabili su larga scala solo quando i costi di produzione e i tempi di realizzazione saranno più contenuti. Molti dei vantaggi dati dall'uso di questi dispositivi potranno essere analoghi a quelli che sono derivati dall'introduzione dei circuiti elettronici; ci si aspetta infatti che l'impatto dei dispositivi LOC rivoluzioni la vita di tutti i giorni analogamente a quanto è avvenuto con lo sviluppo della microelettronica e dei circuiti integrati nella seconda metà del secolo scorso.<sup>268</sup>

### 4.5.2. Direzioni future

In questi ultimi anni sono stati realizzati diversi dispositivi LOC che sono stati impiegati soprattutto nel campo delle diagnosi cliniche; come descritto precedentemente, la tendenza è quella di dimostrare che questi strumenti possono svolgere più operazioni contemporaneamente e in modo parallelo, aumentando così efficienza e velocità delle analisi.

I futuri dispositivi di questo tipo inoltre, saranno progettati per consumare molta meno energia e saranno ancora più piccoli e leggeri, fattori che consentiranno una loro estrema portabilità.<sup>269</sup> In prospettiva inoltre, è immaginabile che al loro interno verranno incorporate anche tecnologie come la connettività *wireless*, in modo da renderli capaci di gestire direttamente il flusso di informazioni da loro stessi prodotto; molti dei dispositivi LOC attuali infatti, operano solo grazie a sistemi elaborativi esterni mentre si ipotizza che una nuova generazione di questi dispositivi sarà in grado di funzionare autonomamente, potendo sincronizzare le informazioni prodotte da diverse fonti localizzate in luoghi

<sup>263</sup> Giannitsis A., 2011, Microfabrication of biomedical lab-on-chip devices

<sup>264</sup> *ibidem*

<sup>265</sup> *processi elettrocinetici*: che si basano su fenomeni elettrochimici che coinvolgono i movimenti di cariche elettriche in un fluido e che vengono sfruttati in alcune fasi dei processi manifatturieri o di lavorazione industriale

<sup>266</sup> Giannitsis A., 2011, *op. cit.*

<sup>267</sup> *ibidem*

<sup>268</sup> *ibidem*

<sup>269</sup> Klapperich C., 2009, Microfluidic diagnostics: time for industry standards

anche molto distanti tra loro. Proprio per questo motivo sarà necessario muoversi verso una loro standardizzazione per migliorarne l'interoperabilità.<sup>270</sup>

E' auspicabile che nel futuro dei dispositivi LOC vi sia un passaggio dal loro impiego attuale, come strumenti di tipo laboratoriale, ad un utilizzo per le analisi personalizzate in campi differenti a quello medico.<sup>271</sup> La tecnologia LOC può infatti essere d'aiuto per il monitoraggio delle sostanze tossiche e patogeni presenti nell'ambiente; ad esempio sensori marini biochimici miniaturizzati e sommersi, possono essere utilizzati per monitorare la presenza di contaminanti negli oceani, svolgendo analisi sui fito-plancton o verificando nelle acque del mare la presenza di metano, azoto o fosfati. Non è difficile immaginare la realizzazione di *bio-chip* integrati posizionati in aree collettive quali aeroporti, metropolitane, centri commerciali, per monitorare costantemente il tasso di inquinanti nell'aria o per raccogliere informazioni utili a rilevare la presenza di agenti patogeni e pericolosi per la sicurezza.<sup>272</sup>

Nello sviluppo futuro dei LOC il fattore miniaturizzazione giocherà sicuramente un ruolo importante e la complessità di questi dispositivi, proprio per le loro enormi potenzialità, sta aumentando ad un rateo di crescita comparabile a quello che ha caratterizzato la diffusione dei circuiti integrati descritto dalla famosa *Legge di Moore*.<sup>273</sup>

#### 4.6. Tracking animale e utilizzo nel campo dell'allevamento

Il movimento dei singoli animali gioca un ruolo importante nei processi ecologici, tanto da essere diventato un campo della scienza conosciuto come *ecologia degli spostamenti*, una sotto categoria dell'ecologia informatica, dell'ecologia spaziale e della geo-ecologia.<sup>274</sup> L'ecologia degli spostamenti ha l'obiettivo di comprendere i meccanismi, gli schemi, le ragioni e gli effetti di questi movimenti;<sup>275</sup> attraverso l'analisi degli spostamenti degli animali vengono monitorati tutti quei comportamenti messi in atto dagli animali al fine del raggiungimento delle risorse alimentari, del foraggiamento, della predazione e delle relazioni tra i sessi.<sup>276</sup> L'aver a disposizione questi dati può essere di grande utilità nella progettazione di applicazioni



**Figura 53:** il tracking degli animale selvatici, in questo caso attraverso un radio collare, è uno degli strumenti che definisce l'ecologia degli spostamenti (fonte: Royal Veterinary College)

<sup>270</sup> Giannitsis A., 2011, *op. cit.*

<sup>271</sup> *ibidem*

<sup>272</sup> *ibidem*

<sup>273</sup> secondo la quale dagli anni '70 la potenza di calcolo degli elaboratori elettronici ha subito una crescita quasi esponenziale

<sup>274</sup> Nathan R., 2008, An emerging movement ecology paradigm

<sup>275</sup> *ibidem*

<sup>276</sup> Baratchi M. et al., 2013, Sensing solutions for collecting spatio-temporal data for wildlife monitoring applications

pensate per monitorarne il comportamento degli animali o che devono svolgere su di loro un'azione di controllo (**Figura 53**).<sup>277</sup> Un primo approccio utile alla raccolta di queste informazioni si basa sull'osservazione umana; non si tratta tuttavia di un sistema di valutazione ideale, poiché alcuni animali, come nel caso di quelli notturni, tendono a nascondersi o si muovono quando vengono osservati.

Grazie all'impiego di sistemi automatici invece, i dati possono essere raccolti senza che vi sia una significativa influenza sul comportamento dei soggetti posti sotto osservazione.<sup>278</sup> Attraverso questi sistemi i dati sono raccolti dai sensori disposti nell'ambiente o attaccati direttamente sugli animali permettendo di acquisire questo tipo di informazioni in maniera molto dettagliata. Sono diverse le tecnologie che possono essere usate al fine della raccolta di questi dati e tra le loro caratteristiche vi è il fatto che possono funzionare anche in maniera collaborativa, potendo così gestire grandi quantità di dati.<sup>279</sup>

#### 4.6.1. Classificazione delle tecnologie per il tracking degli animali

L'uso di dati spaziali e temporali permette la creazione di modelli sullo spostamento degli animali grazie a due differenti metodologie: la prima si basa sul tracciamento di un singolo o di gruppi di individui mentre la seconda fa riferimento agli effetti della presenza degli animali in un luogo.<sup>280</sup> Nel primo caso si tenta di costruire un modello partendo dal comportamento degli animali, nel secondo invece sono i luoghi dove gli animali vivono che vengono parametrati, verificando e quantificando il cambiamento generato nell'ambiente dalla loro presenza. In entrambi i casi i sistemi di raccolta delle informazioni dovrebbero essere progettati per raccogliere la maggior quantità di dati, per il più lungo tempo possibile e senza influenzare i comportamenti del soggetto osservato. Tutto questo implica che le tecniche utilizzate possono avere un impatto sull'ambiente nel quale vengono ad operare e pertanto i dispositivi utilizzati devono essere progettati per tener conto anche di questi fattori di disturbo.<sup>281</sup> Generalmente le informazioni raccolte sono caratterizzate da errori e da un certo "rumore di fondo" richiedendo spesso un lavoro di "pulizia" del dato che non sempre il sensore è in grado di svolgere direttamente; ciò implica che chi riceve e gestisce l'informazione debba tenere conto di questo fattore e prevedere che questa operazione possa essere svolta in un momento successivo attraverso strumenti adeguati allo scopo.

#### 4.6.2. Tecnologie che misurano gli effetti ambientali prodotti dagli animali

Come anticipato, questa metodologia misura gli effetti ambientali prodotti dal comportamento degli animali. Analogamente a quanto verificato nella sezione dedicata al *remote sensing*,<sup>282</sup> le tecnologie

<sup>277</sup> Vavra M., Ganskopp D., 1998, *op. cit.*; su come gli animali da pascolo utilizzano il territorio *cf.* il Paragrafo 3.4.3

<sup>278</sup> Baratchi M. et al., 2013, *op. cit.*

<sup>279</sup> *cf.* il Paragrafo 5.3 sull'approccio "collaborativo" alla ricerca e sulla questione dei *Big data*

<sup>280</sup> Smouse P. et al., 2010, Stochastic modelling of animal movement

<sup>281</sup> *ibidem*

<sup>282</sup> *cf.* il Paragrafo 4.2.1 sul *Remote sensing*: strumenti e metodi

utilizzate per questo scopo possono essere classificate come *attive* e *passive*. Le tecnologie *attive*, come radar o sonar, riconoscono la presenza di un soggetto basandosi sul modo in cui questo modifica la propagazione di un impulso elettromagnetico che viene generato artificialmente; quelle *passive* invece registrano semplicemente quanto è naturalmente presente in un ambiente; in altri termini le tecnologie attive generano e ricevono un segnale mentre quelle passive lo ricevono solamente.

Tra i dispositivi di tipo *attivo* si possono elencare:<sup>283</sup>

### **Radar (generatore / ricevitore di un impulso elettromagnetico)**

E' una tipologia di rilevamento che viene utilizzata anche da alcune specie animali come pipistrelli e delfini; questi ultimi sono così sofisticati da riuscire a modulare il segnale in funzione dell'oggetto che viene rilevato, sia esso dinamico (ad esempio un insetto) o statico (ad esempio una pianta).<sup>284</sup>

Tra i sistemi in grado di usare questa tecnica vanno compresi i dispositivi radar, sonar, lidar. Recentemente è stato dimostrato che i sistemi radar, quando integrati con le reti sensoriali, sono in grado di identificare differenti categorie di oggetti in maniera molto efficiente.<sup>285</sup>

Tra le tecnologie di tipo *passivo* vengono invece comprese:<sup>286</sup>

### **Fotocamere (ricevitori visivi)**

L'interpretazione visuale dell'ambiente offre diversi tipi di informazioni come ad esempio forma e dimensioni degli oggetti osservati; in questo ambito è inoltre possibile ricavare altri parametri utili alla valutazione come l'individuazione delle diverse specie animali potendone determinare anche alcune caratteristiche utili a definire il comportamento.

L'integrazione delle fotocamere e delle reti sensoristiche è possibile grazie all'avvento della tecnologia denominata CMOS; se confrontiamo la generazione precedente di questo tipo di sensori denominati CCD<sup>287</sup> con le fotocamere CMOS ne risulta che queste ultime sono più piccole, leggere e consumano molta meno energia.<sup>288</sup> Ognuna di queste fotocamere può essere pensata per lavorare all'interno di una rete di sensori, elaborando i dati acquisiti localmente per poi scambiare le informazioni con gli altri nodi che compongono la rete stessa. Rispetto alla sensoristica passiva (ad esempio i sensori all'infrarosso), uno dei vantaggi nell'usare sistemi che lavorano nel campo della luce visibile come questi, è la loro capacità di identificare gli animali a sangue freddo come ad esempio i serpenti; non mancano comunque fattori in grado di influenzare negativamente l'efficacia di questi dispositivi come la copertura fogliare delle piante, le variazioni della luce, le ombre o i riflessi ambientali.<sup>289</sup>

### **Immagini termiche**

Alle normali temperature ambientali tutti gli oggetti irradiano radiazioni infrarosse; gli animali a sangue caldo, come i mammiferi, producono una grande quantità infrarossi che sono distinguibili dalla vegetazione o dal contesto che li circondano permettendo, con i giusti strumenti, di individuare il

<sup>283</sup> Baratchi M. et al., 2013, *op. cit.*

<sup>284</sup> Baker C. et al., 2007, Target classification by echo locating animals

<sup>285</sup> *ibidem*

<sup>286</sup> Baratchi M. et al., 2013, *op. cit.*

<sup>287</sup> i dispositivi CCD sono stati descritti nelle tecniche per il riconoscimento dei disturbi nelle piante; *cfr.* Nota 231

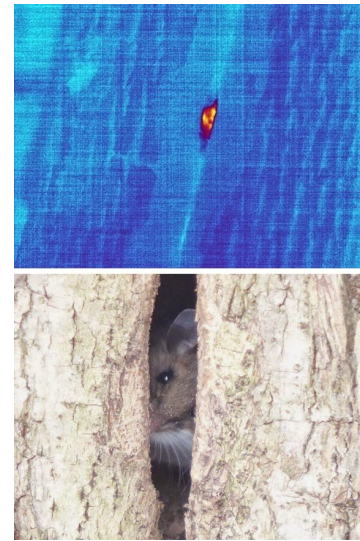
<sup>288</sup> Akyildiz I. et al., 2007, A survey on wireless multimedia sensor networks

<sup>289</sup> *ibidem*

soggetto che deve essere inseguito più agevolmente. Ad esempio, facendo riferimento alla **Figura 54**, l'utilizzo di un'immagine termica permette di rilevare la presenza in un albero della tana di un piccolo roditore che altrimenti sarebbe invisibile all'occhio umano.

Al fine del monitoraggio degli animali attraverso questa tecnica, possono essere utilizzate diverse tipologie di sensori che sono in grado di determinare con precisione sia la temperatura del soggetto che il suo movimento. Uno dei limiti di questa analisi è che molti animali a sangue caldo sono caratterizzati da temperature corporee molto simili ed è per questo che la cosiddetta "segnatura termica" non può essere un parametro significativo per una precisa e accurata identificazione.<sup>290</sup>

Ad ogni modo si tratta di una informazione di grande utilità perchè può comunque essere utilizzata, con le dovute tecniche, per determinare lo stato di salute di un animale, così come il suo livello di *stress*, e può sempre essere utilizzata in maniera combinata con strumenti di altro tipo, determinando un quadro fisiologico e di salute complessivo.<sup>291</sup>



**Figura 54:** una cavità in un albero può nascondere la tana di un piccolo roditore che solo un'immagine termica può rivelare (fonte: Infrared Birding)

### Sensori chimici

Tutti gli organismi viventi emettono composti volatili (VOC); ambienti differenti, differenze genetiche e di alimentazione rendono molto improbabile l'eventualità che due organismi producano la stessa combinazione di questi composti. Analogamente a quanto descritto nel paragrafo sui disturbi delle piante,<sup>292</sup> i VOC possono essere utilizzati come marcatore per identificare i singoli individui: i sensori chimici, nello specifico i nasi elettronici (EN), già impiegati in campo biomedico e ambientale e che sono oggetto di valutazioni anche in campo agricolo, potrebbero essere gli strumenti ideali per questo scopo anche se, analogamente a quanto avviene nelle piante, è necessario un grande lavoro di preanalisi dei composti nell'identificazione univoca di biomarcatori specifici per soggetto.<sup>293</sup>

### Microfoni

Gli animali utilizzano emissioni sonore per scopi differenti come, ad esempio, difendere il proprio territorio, attrarre l'individuo di sesso diverso, scoraggiare i predatori, ecc.<sup>294</sup> Questi suoni possono essere utilizzati per riconoscere la presenza di una determinata specie, anche se l'interferenza dei suoni ambientali o dalle attività umane rendono questo lavoro di identificazione spesso difficile. Lo strumento che si utilizza per questo scopo sono i microfoni che, in base alla specie che si vuole monitorare, lavorano a differenti gamme di frequenza: soniche, infrasoniche e ultrasoniche.<sup>295</sup>

<sup>290</sup> Mainwaring A. et al., 2002, Wireless Sensor Networks for habitat monitoring

<sup>291</sup> *ibidem*

<sup>292</sup> *cf.* Paragrafo 4.4.3

<sup>293</sup> *cf.* Paragrafo 4.4.4

<sup>294</sup> Blumstein D. et al., 2011, Acoustic monitoring in terrestrial environments using microphone arrays

<sup>295</sup> *ibidem*

Con un accettabile livello di approssimazione, attraverso particolari algoritmi di correzione utilizzati nella fase di analisi dei suoni, è possibile distinguere gli animali in base alla specie, il sesso e l'età.<sup>296</sup>

### Sensori sismici

Vi sono diverse specie di invertebrati e vertebrati che producono vibrazioni sismiche sul terreno per comunicare. Si tratta essenzialmente di rilevare la propagazione di queste onde sonore superficiali che vengono misurate attraverso due tipi di trasduttori: geofoni e accelerometri. Al fine di ricavare un'informazione utile, il segnale prodotto da questi dispositivi deve necessariamente essere elaborato ma, allo stato attuale, risulta molto difficile isolare il segnale significativo dal rumore di fondo o da quello di disturbo prodotto dalle attività umane.<sup>297</sup>

### 4.6.3. Dispositivi collegati direttamente agli animali

Come introdotto, questo tipo di strumenti vengono posizionati direttamente sugli animali da monitorare e, visto che devono essere indossati, in generale queste tecnologie devono essere leggere e in grado di garantire una durata della batteria abbastanza lunga.<sup>298</sup> Mettendo a confronto questi dispositivi con quelli esaminati precedentemente è importante tenere conto che, quando si ha a che fare con animali allo stato brado, il sistema di acquisizione dei dati deve essere di tipo automatico e che questi possano essere trasmessi in remoto poiché il loro recupero è talvolta impossibile.

Sono diverse le tipologie di dispositivi che possono essere direttamente posizionati sugli animali; di seguito se ne riporta una breve descrizione.

#### Identificatori in Radio Frequenza (RFID)

Come accennato in precedenza,<sup>299</sup> questo tipo di tecnologia è progettata per immagazzinare e trasmettere dati attraverso dei piccoli dispositivi denominati *tag*, caratterizzati da un numero identificativo e da una piccola memoria che può contenere alcuni parametri rilevati, quali temperatura, umidità, ecc. Gli RFID utilizzati per lo studio e il monitoraggio di varie specie di uccelli, anfibi, mammiferi, ecc., possono impiegare tecnologie sia di tipo *attivo* che *passivo* o un *mix* tra le due.

I *tag* attivi sono equipaggiati con una propria fonte di alimentazione elettrica e generalmente lavorano a medie-alte frequenze (455 MHz, 2.45 GHz o 5.8 GHz), permettendo un raggio di trasmissione che può andare da 20 fino a 100 metri. Per questa ragione questi dispositivi sono di solito impiegati per monitorare animali di grandi dimensioni sui quali vengono applicati nella forma di collari. I *tag* passivi invece, al fine del *tracking* animale, si presentano nella forma di impianti sotto cutanei o di anelli che generalmente vengono fissati alle orecchie dell'esemplare che deve essere monitorato (**Figura 55**).

<sup>296</sup> Blumstein D. et al., 2011, op. cit.

<sup>297</sup> Baratchi M. et al., 2013, op. cit.

<sup>298</sup> *ibidem*

<sup>299</sup> cfr. la Nota 191 sull'utilizzo degli RFID nelle reti WSN applicate all'allevamento



Questi dispositivi non possiedono una fonte di alimentazione propria, ma si attivano e sono in grado di emettere un segnale di risposta grazie all'energia fornita da un *lettore*<sup>300</sup> quando posto nelle loro immediate vicinanze; a causa delle loro ridotte dimensioni questi strumenti vengono utilizzati per lo studio di piccoli animali e quando installati di solito non vengono più rimossi; si tratta di una tecnologia comunemente utilizzata per monitorare lo spostamento dei pesci o addirittura degli insetti.<sup>301</sup>

I *tag* passivi, progettati per lavorare a frequenze molto più basse rispetto ai modelli di tipo attivo (128 kHz, 13.6 MHz o 915 MHz), hanno un raggio di trasmissione che può arrivare al massimo alla decina di metri.

A causa della copertura fogliare delle piante e analogamente a quanto avviene in campo agricolo, poiché l'acqua presente nei tessuti tende ad assorbire e a attenuare i segnali trasmessi alle alte frequenze, la maggior parte degli RFID passivi impiantati sulla pelle degli animali vengono progettati per operare a basse frequenze mentre i dispositivi attivi collocati esternamente operano a frequenze più elevate.<sup>302</sup> Se i *tag* di tipo passivo sono piccoli e poco costosi, al contrario i dispositivi che devono leggere le informazioni sono relativamente ingombranti perché devono avere un'antenna di dimensioni più grandi.

Gli RFID tradizionali operano sulla base della comunicazione diretta tra un trasmettitore e un ricevitore; notevoli sforzi sono stati fatti in questi ultimi anni per integrare questi dispositivi all'interno delle reti WSN, dotandoli della capacità di raccogliere informazioni ambientali e aggiungendo la possibilità di comunicare con altri dispositivi.<sup>303</sup> E' comunque evidente che esiste un fattore limitante della loro operatività dovuto al fatto che la loro miniaturizzazione e la necessità che funzionino per lunghi periodi difficilmente si conciliano con le specifiche di funzionamento di una rete *wireless* tradizionale; per applicazioni "tradizionali" sono preferibili tecnologie trasmissive di tipo diverso, in grado di scambiare maggiori quantità di dati e su distanze più lunghe.<sup>304</sup> Nulla toglie comunque che, su applicazioni specifiche e ben progettate, sia possibile una "ibridazione" tra le varie soluzioni dove i punti di forza dei dispositivi RFID possono supplire alle debolezze delle tecnologie tradizionali e viceversa.<sup>305</sup>

### Trasmettitori radio

L'uso dei trasmettitori in radio frequenza per *tracking* animale ha avuto una larga diffusione quando le moderne tecnologie *wireless* non esistevano ancora, i sistemi GPS non erano miniaturizzati e la



**Figura 55:** esempi di RFID applicati sulle orecchie di un animale da pascolo e per utilizzo sottocutaneo (fonte: Premier Supplies, Biomark Inc.)

<sup>300</sup> un trasmettitore che identifica la presenza del corrispondente *tag*

<sup>301</sup> Baratchi M. et al., 2013, *op. cit.*

<sup>302</sup> cfr. il Paragrafo 4.3.4 sulle problematiche applicative delle reti WSN

<sup>303</sup> Liu H. et al., 2007, Integration of RFID and Wireless Sensor Networks

<sup>304</sup> cfr. Paragrafo 4.3.1 sulle tecnologie trasmissive disponibili

<sup>305</sup> Nagpurkar A., Jaiswal S., 2015, An overview of WSN and RFID network integration

trasmissione in radiofrequenza era l'unica soluzione disponibile.<sup>306</sup> Questa tecnica prevede l'utilizzo della telemetria via radio mediante la quale un dispositivo attaccato ad un animale, che trasmette un segnale nel campo delle onde UHF o VHF, permette di ricavare la posizione di un soggetto attraverso una procedura di triangolazione dei segnali.



**Figura 56:** questo fagiano americano è stato tracciato per migliaia di chilometri attraverso un radio-collare di tipo tradizionale (fonte: Missouri Department of Conservation)

Questa tecnologia radio si appoggia su dei dispositivi capaci di trasmettere un codice per la rilevazione della posizione dell'esemplare ma non consente di inviare altre informazioni; inoltre il margine di errore di posizione è relativamente elevato, intorno ai 0.5 km.<sup>307</sup> Questi strumenti sono in grado comunque di immagazzinare le informazioni rilevate, che dovranno però essere poi raccolte recuperando fisicamente il collare. Le ridotte dimensioni dei trasmettitori in radio frequenza permettono di installare questi dispositivi su animali di piccola taglia e consentono una grande autonomia di funzionamento; per questo motivo non mancano studi e sperimentazione anche recenti<sup>308</sup> che

utilizzano questi collari in combinazione con dispositivi GPS o satellitari di maggiore precisione, integrandone caratteristiche e funzionalità (**Figura 56**).

### Sistemi GPS

Esiste un'ampia serie di esempi di utilizzo dei sistemi GPS per la localizzazione degli animali selvatici.<sup>309</sup> Questa tecnologia permette ad un ricevitore di acquisire il segnale da almeno 3 satelliti per ottenere la sua posizione sulla superficie terrestre (**Figura 57**). Il vantaggio, rispetto ai radio collari tradizionali è che un collare GPS può integrarsi ad altri sistemi per trasmettere i dati di posizione dell'animale in tempo reale: può essere accoppiato ad esempio a un trasmettitore radio, ad un dispositivo cellulare GSM, funzionare all'interno di una rete WSN ma anche comunicare con una rete satellitare come quella Argos, Iridium e Globalstar **Figura 58**.<sup>310</sup>

Sul collare inoltre è possibile integrare sensori ambientali di vario tipo per rilevare temperatura, movimenti, segnali vitali dell'animale, oltre che ad una video camera.<sup>311</sup>



**Figura 57:** collare GPS per mammiferi di piccole dimensioni (fonte: Lotek Inc.)

<sup>306</sup> Baratchi M. et al., 2013, op. cit.

<sup>307</sup> Turner L. et al., 2000, op. cit.

<sup>308</sup> Collins G. et al., 2014, Testing VHF/GPS collar design and safety in the study of free-roaming horses

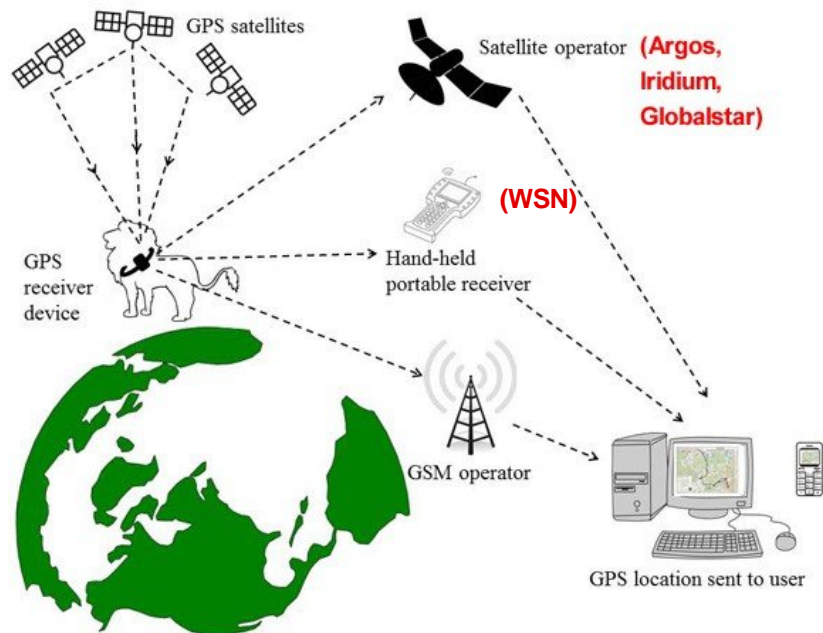
<sup>309</sup> Thorup K., Holland R., 2009, The bird GPS - Long-range navigation in migrants

<sup>310</sup> Argos, Iridium e Globalstar: reti di satelliti in orbita terrestre bassa, alcune nate esplicitamente con la finalità del *tracking* degli animali (Argos) ma con limitate capacità di trasmissione dati, altre sviluppate per il mercato delle telecomunicazioni cellulari e con una maggiore capacità di comunicazione che può essere anche di tipo bidirezionale

<sup>311</sup> cfr. voce Lotek Inc. in SITOGRAFIA

Queste informazioni possono essere trasmesse via radio, reti GSM o WSN, o utilizzare una rete satellitare se questa ha la capacità di gestire flussi dati di tipo bidirezionale.<sup>312</sup>

Uno dei limiti dei sistemi GPS consiste nel fatto che questo tipo di collari è più ingombrante e costoso di quelli tradizionali; inoltre, visto il numero maggiore di componenti integrati, questi dispositivi hanno una minore autonomia e, in certe situazioni, il ricevitore GPS o il trasmettitore satellitare può essere "oscurato" dalle condizioni meteorologiche (nuvole, umidità, ecc.), della copertura fogliare degli alberi o dalla particolare conformazione del terreno (alture, canyon, ecc.).<sup>313</sup> In più, se impiegati nel monitoraggio degli animali che vivono allo stato brado, questi dispositivi trovano una limitata applicabilità se consideriamo il fatto che in alcune aree, soprattutto quelle rurali, non è sempre presente la copertura delle reti cellulari e, per quanto riguarda invece le reti WSN, queste devono essere realizzate *ad hoc*. Al contrario risulta essere una scelta ottimale per gli animali che si muovono in ambiti geografici meno estesi o circoscritti come nel caso delle mandrie al pascolo.<sup>314</sup>



**Figura 58:** varie modalità di trasmissione della posizione da parte di un collare che utilizza la tecnologia GPS per il *tracking* animale (fonte: *Nadia de Souza / Mongabay.com / rielaborazione Autore*)

### Sensori inerziali

E' possibile monitorare il movimento degli animali anche utilizzando sistemi inerziali che misurano velocità e direzione mediante l'impiego di accelerometri, giroscopi e magnetometri. Conoscendo la posizione iniziale del soggetto è possibile stimare la sua localizzazione attraverso la misura della velocità o dell'accelerazione alle quali è stato sottoposto nel tempo anche se questa tipologia di

<sup>312</sup> Baratchi M. et al., 2013, *op. cit.*

<sup>313</sup> *ibidem*

<sup>314</sup> *ibidem*

dispositivi è tuttavia influenzata dagli errori cumulativi e dall'influenza dei campi magnetici esterni, così come dalla vicinanza di oggetti metallici.<sup>315</sup> Anche in questo caso una rete WSN può essere utilizzata in appoggio per integrare e per migliorare la qualità delle informazioni raccolte.

#### 4.6.4. Conclusioni

In questi ultimi anni, nel campo del *tracking* degli animali sono state sviluppate diverse soluzioni che consentono non solo il monitoraggio della loro posizione geografica, ma anche la trasmissione di alcune informazioni tra le quali i parametri vitali, permettendo di determinare con precisione il loro stato di salute. Lo sviluppo delle tecnologie radio e satellitari ha facilitato questo compito ma è grazie alle reti *wireless* terrestri che si è avuto un impulso significativo nel miglioramento di questi dispositivi; proprio per questo, nella loro applicazione, sembra preferibile puntare al miglioramento e all'integrazione delle diverse tecnologie trasmissive piuttosto che alla scelta di un sistema rispetto ad un'altro, in modo che i limiti di un sistema siano compensati dalle capacità dall'altro e *viceversa*. L'utilizzo delle soluzioni per il *tracking* animale più convenzionale all'interno delle reti WSN garantisce maggiori vantaggi rispetto al passato, sia per quello che riguarda la raccolta delle informazioni spazio-temporali relative agli spostamenti, sia in termini di possibilità di sviluppo di un maggior numero di applicazioni.

Oltre agli aspetti "di rete", appare chiaro che, analogamente a quanto detto per i dispositivi utilizzati per lo *Smart farming*, lo sviluppo di sensori più piccoli e leggeri, che garantiscano durata e raggio di utilizzo più elevati possibili, rappresenterà il fattore chiave per il successo di questi sistemi. Come riflessione finale, se nel campo del *tracking* animale la raccolta delle informazioni può avvenire nei modi più vari, con una tecnologia piuttosto che con un'altra, rappresentando un fattore importante ma non così determinante, tuttavia ciò che assume un'importanza fondamentale non è come questa informazione viene trasmessa o condivisa ma come poi questa verrà correttamente gestita e interpretata.

### 4.7. Piattaforme mobili per usi agricoli e allevativi

L'affermarsi e la diffusione della tecnologia del veicolo senza pilota, ovvero degli *Unmanned Vehicle* (o UV), più comunemente noti come *droni*, è stata possibile soprattutto grazie al progresso che si è avuto in alcuni campi come quello della microelettronica.<sup>316</sup> Come si è visto precedentemente, questo è avvenuto a causa della miniaturizzazione dei sensori di tipo MEMS, che vengono utilizzati proprio nei droni con le funzioni di accelerometri, giroscopi, magnetometri, sensori di pressione, ecc. ma

<sup>315</sup> Baratchi M. et al., 2013, *op. cit.*

<sup>316</sup> Anderson C., 2014, Relatively cheap drones with advanced sensors and imaging capabilities are giving farmers new ways to increase yields and reduce crop damage

anche in seguito all'aumento delle prestazioni dei microprocessori e dei componenti elettronici.<sup>317</sup> Questo è stato inoltre possibile anche grazie alla riduzione delle dimensioni dei motori elettrici, al miglioramento della capacità delle batterie e ad una maggiore efficienza dei sistemi radio-trasmissivi. Tutti questi componenti hanno subito uno sviluppo estremamente veloce, diventando sempre meno costosi anche in conseguenza all'impulso ricevuto dalla crescita vertiginosa di tutte le tecnologie legate alla telefonia mobile.<sup>318</sup>

Ma non è si è trattato solo di una questione di *hardware*: alla base di questo straordinario sviluppo vi è anche l'impegno di una vasta comunità di programmatori che hanno saputo sviluppare *software* di tipo *open-source*,<sup>319</sup> con caratteristiche spesso superiori a quello di tipo "proprietario", che ha consentito a chiunque la possibilità di sviluppare, integrare e migliorare queste tecnologie.<sup>320</sup>

Tra i vantaggi dell'impiego delle piattaforme aeree in campo agricolo in primo luogo vi è la possibilità della visione *dall'alto* che consente di riconoscere tutta una serie di aspetti che solitamente sfuggono ad una visione *dal basso*, come i problemi di irrigazione, le variazioni dell'uso del suolo, gli effetti della presenza di patologie sulle piante. Secondariamente le fotocamere multispettrali, che rappresentano il carico comunemente trasportato dai droni, possono essere utili per evidenziare le differenze tra le coltivazioni in salute e quelle in sofferenza e per svolgere complesse operazioni di analisi sulle immagini.<sup>321</sup> Infine, questione non meno importante, i droni rappresentano una tecnologia che può essere utilizzata per monitorare, con scadenze programmabili, il cambiamento dei fenomeni nel tempo, permettendo di evidenziare le debolezze nella gestione delle risorse agricole o naturali. Non a caso quindi, si può parlare di un settore, quello dell'agricoltura o dell'allevamento, che grazie a questi nuovi strumenti sta subendo un profondo mutamento e che può considerarsi sempre più orientato verso una dimensione gestionale che viene comunemente definita come *data-driven*.<sup>322</sup>

Come si è visto anche nella sezione dedicata allo *Smart farming* e all'agricoltura di precisione, chi opera in questo settore già oggi deve necessariamente confrontarsi con tecnologie in grado, ad esempio, di far muovere i trattori in maniera autonoma, di pilotare sistemi di semina e raccolta automatici o di gestire reti sensoristiche capaci di monitorare i più svariati fattori ambientali. L'integrazione di queste tecnologie con quella dei droni potrebbe rendere possibile una visione più allargata e comprensiva dei fenomeni, capace di offrire non solo un punto di vista diverso rispetto a quanto possibile in passato ma anche un senso d'insieme nella gestione delle risorse ambientali.<sup>323</sup>

---

<sup>317</sup> per una descrizione dei dispositivi MEMS cfr. il Paragrafo 4.5

<sup>318</sup> Anderson C., 2014, *op. cit.*

<sup>319</sup> con il termine *open-source* si indica un software del quale gli autori rendono pubblico il codice sorgente, favorendone la modifica e l'integrazione al fine di un suo miglioramento, sviluppo ed estensione; si distingue da quello di tipo "proprietario" per il fatto che quest'ultimo invece non è modificabile e migliorabile se non dal produttore che ne detiene proprietà e diritti

<sup>320</sup> Anderson C., 2014, *op. cit.*

<sup>321</sup> cfr. il Paragrafo 4.2.1 sul *Remote sensing*: strumenti e metodi

<sup>322</sup> sulle questioni *data-driven* così come su quelle *fact-based* cfr. Nota 434

<sup>323</sup> Anderson C., 2014, *op. cit.*

### 4.7.1. I veicoli senza pilota

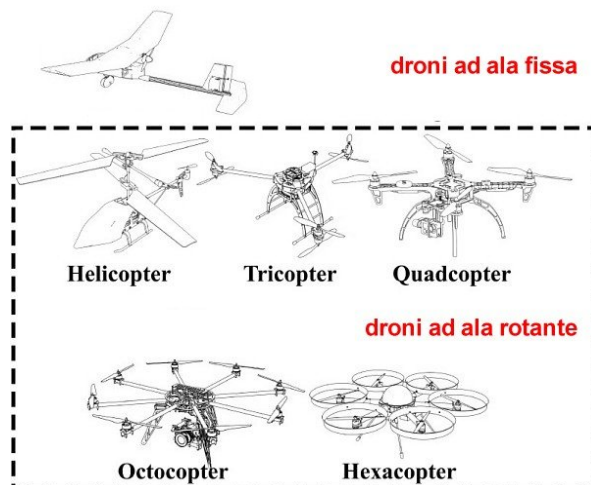
#### Classificazione

Un veicolo senza pilota (*Unmanned Vehicle*), brevemente UV, è un mezzo che può essere di tipo aereo (*Unmanned Aerial Vehicle*, UAV) o terrestre (*Unmanned Ground Vehicle*, UGV). Alla prima categoria corrispondono quelli che comunemente vengono definiti *droni*, alla seconda appartengono i *rover* progettati per muoversi sul terreno. In entrambi i casi il veicolo non trasporta un pilota ma è in grado di muoversi con o senza un controllo remoto; per questo motivo si può anche dire che si tratta di mezzi senza pilota ma sono comunque pilotati (attraverso dei controlli remoti).<sup>324</sup>

La missione, l'ambiente e le prestazioni sono i fattori chiave che entrano in gioco nella progettazione degli UV. Le caratteristiche stesse di questi veicoli, come la forma, le dimensioni, i sistemi di controllo permettono di svolgere una loro prima classificazione;<sup>325</sup> in primo luogo un UV può essere identificato dal modo in cui questo viene controllato, solitamente tramite un operatore che agisce da remoto, oppure può essere semi-autonomo o del tutto autonomo in base al fatto che il mezzo si muove secondo uno schema programmato (nel caso di uno UAV un piano di volo).

Riferendoci solo al mondo dei veicoli aerei e tralasciando le piattaforme particolari tipo i dirigibili, i micro droni che si ispirano agli uccelli, ecc., considerando le caratteristiche aerodinamiche e di propulsione, i droni possono sostanzialmente essere classificati in due categorie (**Figura 59**):<sup>326</sup>

- droni ad *ala fissa*: si tratta di aerei senza pilota che richiedono un sistema per il decollo e l'atterraggio. I droni ad ala fissa sono generalmente in grado di funzionare per un lungo periodo e a velocità di crociera elevate;
- droni ad *ala rotante*: il loro vantaggio principale è quello di essere in grado di permanere in volo stazionario e di avere una grande manovrabilità, il che li rende la piattaforma ideale per molte missioni. Possono avere differenti configurazioni, con un rotore principale e uno di coda come gli elicotteri convenzionali, avere i rotori posti in tandem o disposti a raggiera in numero crescente.



**Figura 59:** classificazione dei droni (fonte: *Al-Kaff A. et al.*, 2017, *Survey of computer vision algorithms and applications for unmanned aerial vehicles* / rielaborazione Autore)

<sup>324</sup> Efron S., 2015, Use of unmanned aerial systems for agriculture in Africa

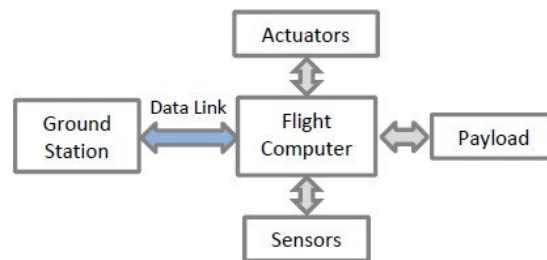
<sup>325</sup> *ibidem*

<sup>326</sup> Nonami K. et al., 2010, Autonomous flying robots. Unmanned aerial vehicles and micro aerial vehicles

## Architettura degli UAV

L'architettura di un drone è definita dalla sua avionica, dalle superfici di controllo e dai propulsori.<sup>327</sup> L'avionica ha il ruolo che avrebbe in un aeromobile convenzionale, cioè quello di permettere che lo UAV possa muoversi liberamente in un volo controllato. Facendo riferimento alla **Figura 60**, l'avionica è composta essenzialmente da una elettronica di controllo (*Flight Computer*), da una radio che permette una connessione bidirezionale (*Data Link*) con chi svolge il controllo remoto (*Ground Station*) e da una serie di attuatori che hanno il compito di muovere le superfici mobili (se presenti) e controllare uno o più propulsori.<sup>328</sup> Nel caso dei moderni droni ad ala rotante con i motori posti a raggiera attorno ad un corpo centrale (ad esempio i *quadricotteri*), le superfici mobili non sono necessarie poiché manovrabilità e direzione vengono assicurati dal controllo differenziale che viene svolto su ogni singolo propulsore.<sup>329</sup>

Vi è poi il carico utile (*Payload*) che viene determinato dal compito che il veicolo è chiamato a svolgere: ad esempio, nel caso il drone debba sorvegliare una determinata area, il carico utile è rappresentato da una serie di fotocamere o dei sensori ottici; in altri



**Figura 60:** architettura dell'avionica di uno UAV (fonte: *Ellen R. et al., 2005, op. cit.*)

casi, ad esempio in ambito agricolo, è possibile che il carico possa essere una sostanza da spruzzare sulle piante.<sup>330</sup> Trasportare un carico, soprattutto in volo, richiede molta energia ed è per questo che il peso è uno dei parametri di fondamentale importanza nella progettazione e realizzazione di qualsiasi drone; a parità di potenza, minore sarà il peso del mezzo maggiore sarà la sua capacità di carico.<sup>331</sup>

I sensori a cui ci si riferisce nello schema della **Figura 60** non sono quelli che solitamente fanno parte del carico utile (fotocamere, ecc.), ma sono quelli necessari al funzionamento della piattaforma ed hanno il compito di raccogliere le informazioni necessarie per determinare la posizione (GPS) o per evitare gli ostacoli che circondano l'aeromobile.

## Grado di autonomia

Vi sono tre forme di controllo che possono essere applicate ad un veicolo senza pilota: remoto, semiautonomo o del tutto autonomo.<sup>332</sup> Nel primo caso il drone ha la necessità di ricevere un *input* costante da parte di un operatore a terra; nel secondo invece il veicolo necessita di essere pilotato solo in alcune fasi "critiche", come durante il decollo o l'atterraggio mentre, una volta in volo, è in grado di utilizzare funzioni di autopilota che lo guidano autonomamente attraverso dei punti fissi (*waypoints*) programmati in anticipo. Nell'ultimo caso invece il drone, attraverso una elettronica di controllo molto sofisticata e coadiuvato da un complesso sistema di sensori, è capace di svolgere una missione in maniera del tutto autonoma.

<sup>327</sup> Efron S., 2015, *op. cit.*

<sup>328</sup> Ellen R. et al., 2005, An investigation into the next generation avionics architecture for the QUT UAV project

<sup>329</sup> Efron S., 2015, *op. cit.*

<sup>330</sup> *cf.* la Nota 389 sull'utilizzo dei mini elicotteri per lo *spraying* sulle culture vegetali

<sup>331</sup> Efron S., 2015, *op. cit.*

<sup>332</sup> Ellen R. et al., 2005, *op. cit.*

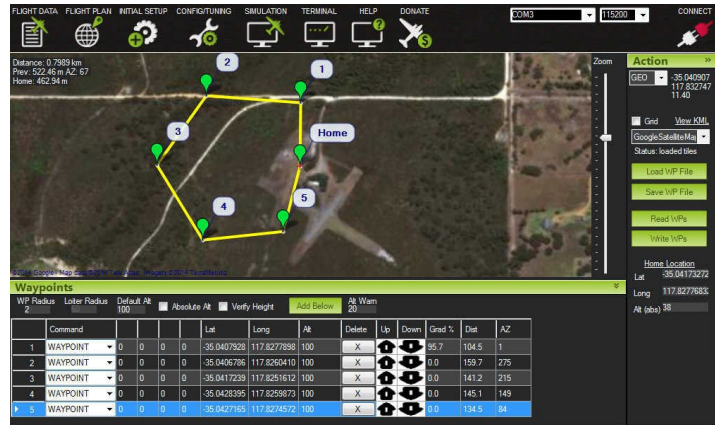
## 4.7.2. Lo sviluppo delle piattaforme autonome

Oltre a quelli militari, in ambito civile esiste un ampio spettro di applicazioni per i mezzi UV; ad esempio nel campo dell'ingegneria si può includere l'osservazione delle coste, la prevenzione degli incendi, la mappatura del terreno, l'ispezione delle infrastrutture, ecc.<sup>333</sup> Non appena questa tecnologia ha dovuto affrontare questioni di distanza e operabilità e dovendo svolgere operazioni in luoghi remoti, si è anche manifestata la necessità di un più alto livello di autonomia potendo tuttavia garantire sicurezza ed efficienza.<sup>334</sup>

Concettualmente, così come esemplificato in **Figura 60**, per la navigazione un sistema senza pilota dipende da un sistema avionico e da una unità elaborativa dedicata.

Al momento attuale i droni civili e militari non sono in grado di svolgere operazioni di volo definibili come realmente autonome; generalmente questi veicoli utilizzano i dati provenienti da sensori GPS o da sistemi inerziali per poter svolgere un semplice volo programmato. Ad esempio, riferendoci alla **Figura 61**, alcuni UAV commerciali come quelli dotati di autopilota Pixhawk<sup>335</sup> sviluppato per la piattaforma APM Arducopter,<sup>336</sup> si appoggiano su informazioni di velocità, altitudine e posizione per seguire un percorso di punti predefiniti detti *waypoints*, che vengono impostati attraverso un *software* per la pianificazione del volo (*flight planner*).

Al di là delle questioni di affidabilità, un sistema di questo tipo mostra comunque il limite di non poter operare senza che vi sia il controllo di un operatore remoto: può essere impostato un percorso di navigazione e si possono programmare alcune azioni durante il volo ma nulla che riguarda la possibilità di agire autonomamente dove, ad esempio, entrano in gioco questioni di riconoscimento degli ostacoli o la capacità di evitarli. Se queste azioni risultano delle operazioni quasi naturali per molti esseri viventi, per una macchina invece si tratta di un compito complicato; lo è ancora di più se questa operazione deve essere svolta in tempo reale come si vedrà di seguito.<sup>337</sup>



**Figura 61:** interfaccia del *flight planner* per il volo automatico di uno UAV di tipo commerciale (fonte: Ardupilot)

<sup>333</sup> Efron S., 2015, *op. cit.*

<sup>334</sup> *ibidem*

<sup>335</sup> *cf.* la voce Pixhawk Project in SITOGRAFIA

<sup>336</sup> *cf.* la voce Ardupilot in SITOGRAFIA

<sup>337</sup> Radovic M. et al., 2017, Object recognition in aerial images using convolutional neural networks

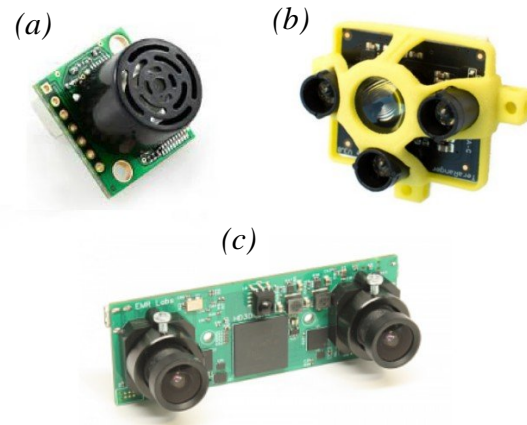


### 4.7.3. Tecniche e metodi per la navigazione autonoma

#### Sensoristica per la navigazione autonoma

Dall'inizio del loro sviluppo i veicoli senza pilota sono stati equipaggiati con una serie di sensori in grado di stimare la loro posizione e l'orientamento nello spazio; i sensori comunemente utilizzati sono rappresentati da quelli di geoposizionamento GPS e da quelli del sistema di navigazione inerziale,<sup>338</sup> costituiti da una serie di accelerometri e da un giroscopio elettronico, tecnologie descritte nel paragrafo dedicato ai dispositivi MEMS. Tuttavia deve essere osservato che questi dispositivi da soli non sono sufficienti a garantire che la missione possa avvenire in maniera automatica.<sup>339</sup> L'evoluzione e la miniaturizzazione della sensoristica e dei sistemi di visione ha portato sul mercato una serie di nuovi strumenti capaci di raccogliere una grande varietà di informazioni esterne e che possono integrare il funzionamento di quelli descritti precedentemente.

Facendo riferimento alla **Figura 62** si tratta, ad esempio, di sensori ad ultrasuoni (a) che possono essere utilizzati per evitare gli ostacoli presenti sul percorso, oppure di telemetri laser (b) che possono essere impiegati per segnalare la presenza di oggetti e per misurare la distanza a cui ci trova da loro, ma anche di fotocamere per la visione binoculare (c) che permettono, attraverso l'acquisizione di una serie di immagini stereoscopiche, di ottenere una misura sulla *profondità di campo*. Attraverso le tecniche della cosiddetta *Computer Vision* le informazioni provenienti da questi dispositivi possono essere utilizzate, per costruire una mappa tridimensionale dell'ambiente.<sup>340</sup> Integrando le informazioni prodotte dagli altri dispositivi di tipo "convenzionale" (GPS, ecc.), con questi sensori il veicolo è in grado di accrescere la percezione dell'ambiente operativo aumentando le possibilità di poter svolgere e completare la missione.<sup>341</sup>



**Figura 62:** sensoristica utilizzabile per la navigazione autonoma di uno UV; sensore ad ultrasuoni (a), telemetro laser (b), fotocamere per la visione binoculare (c) (fonte: Maxbotix Inc., Terabee France, EMR Lab Inc.)

#### Metodi per la navigazione autonoma

I dispositivi descritti precedentemente sono parte di un processo più complesso che il velivolo non pilotato, se dotato di una apposita intelligenza, potrebbe gestire attraverso una apposita unità elaborativa.<sup>342</sup> In questo senso la fase della ricostruzione di un modello tridimensionale dell'ambiente circostante assume un valore rilevante proprio partendo dall'acquisizione di una serie di immagini bidimensionali. Alla base di questa capacità, soprattutto se deve avvenire in tempo reale, vi è prima di tutto una elevata potenza di calcolo e la presenza a bordo della piattaforma di una sensoristica

<sup>338</sup> *Inertial Navigation System (INS)*: sistema di navigazione sviluppato prima della diffusione dei sistemi GPS, caratterizzato dalla stima della posizione geografica facendo riferimento ad una posizione di partenza predeterminata

<sup>339</sup> Kanellakis C., Nikolakopoulos G., 2017, Survey on computer vision for UAVs. Current developments and trends

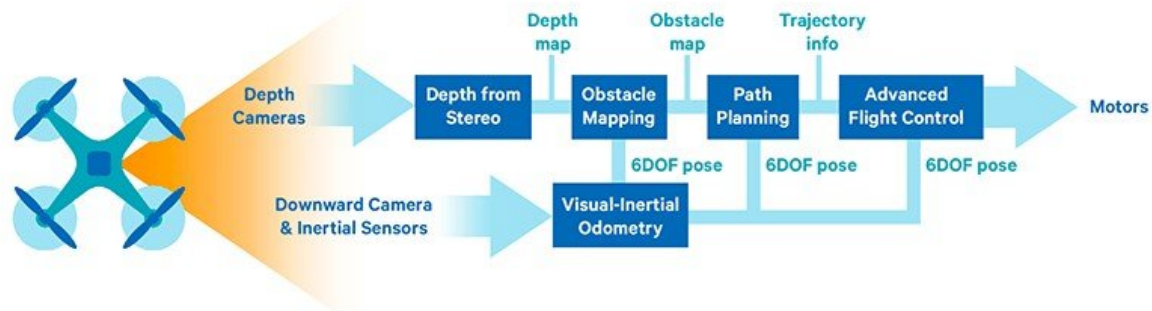
<sup>340</sup> cfr. la sezione successiva sulle tecniche di ricostruzione dell'ambiente circostante

<sup>341</sup> Kanellakis C., Nikolakopoulos G., 2017, *op. cit.*

<sup>342</sup> *ibidem*

dedicata, oltre a quella per il posizionamento (GPS, inerziale, ecc.). Su questo livello, al fine della navigazione autonoma, vanno ad insistere alcuni metodi elaborativi quali la *stima della posizione e del moto nello spazio*, la *ricostruzione dell'ambiente circostante*, il *riconoscimento degli ostacoli* e la *pianificazione del percorso ottimale*.<sup>343</sup>

Come rappresentato in **Figura 63**, in una analisi di queste operazioni tutto inizia con l'acquisizione di immagini ambientali da parte del sistema di visione binoculare (*cameras*) che vengono poi utilizzate per creare una mappa di profondità (*Ddepth map*).<sup>344</sup>



**Figura 63:** rappresentazione del processo che sta alla base del movimento autonomo in un UV  
(fonte: Qualcomm Inc.)

Successivamente, nella fase di ricostruzione dell'ambiente circostante, viene prodotta anche un mappa degli ostacoli (*obstacle map*) mentre il sotto-sistema che si occupa di determinare la posizione e l'orientamento del drone (*visual-inertial odometry*), basandosi sull'analisi delle immagini e dei dati provenienti dai giroscopi e dagli accelerometri, è in grado di determinare accuratamente e in tempo reale la posizione del veicolo nello spazio (*6-DOF pose*).<sup>345</sup> Questa informazione, unita alla mappa di profondità e a quella degli ostacoli, può essere utilizzata per la pianificazione del percorso ottimale (*path planning*) e servirà al computer di volo (*advanced flight control*), che gestisce direttamente i motori e le altre superfici mobili, per far sì che il veicolo possa muoversi liberamente nello spazio senza incontrare ostacoli.<sup>346</sup> Di seguito vengono approfonditi alcuni di questi aspetti.

### Ricostruzione dell'ambiente circostante

Nella realizzazione della navigazione autonoma si tratta di una tecnica che ha un ruolo determinante; partendo dalla propria posizione e elaborando un modello tridimensionale dello spazio lo scopo è quello di ricostruire in maniera dettagliata l'ambiente circostante utilizzando varie tipologie di sensori come, ad esempio, *laser scanner*, fotocamere, ecc.<sup>347</sup> Analogamente a quanto è stato fatto nel capitolo relativo alle tecniche per il *remote sensing*, questi dispositivi possono essere classificati come *attivi* o *passivi* a seconda che le informazioni vengano rilevate, ad esempio, attraverso un fascio laser che "illumina" la scena, o vengano prodotte da una fotocamera che si limita a leggere l'energia naturale

<sup>343</sup> Szeliski R., 2011, Computer Vision. Algorithms and applications

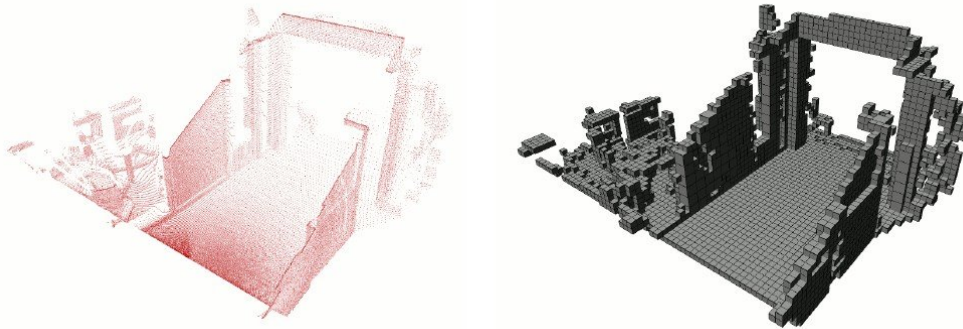
<sup>344</sup> Qualcomm Inc., 2015, Robotics research project: Achieving autonomy and seamless cellular connectivity

<sup>345</sup> 6-DOF (o Six Degrees of Freedom): si riferisce ai gradi libertà di movimento di un oggetto nello spazio

<sup>346</sup> Qualcomm Inc., 2015, *op. cit.*

<sup>347</sup> Hornung A. et al., 2013, OctoMap: An efficient probabilistic 3D mapping framework based on octrees

riflessa o emessa dagli oggetti osservati.<sup>348</sup> Facendo riferimento alla tecnica del *laser scanner*, questa permette la ricostruzione dell'ambiente attraverso una densa nuvola di punti che rappresentano le superfici visibili della scena e che può poi essere semplificata in blocchi volumetrici, utili anche a ridurre il peso dell'elaborazione (**Figura 64**).<sup>349</sup>



**Figura 64:** esempio di rappresentazione di uno spazio mediante una nuvola di punti (a sinistra in rosso), che può essere semplificata attraverso blocchi volumetrici (a destra in grigio) (fonte: *Hornung A. et al., 2013, op. cit.*)

La potenzialità di questa metodolgia sta nel fatto che ogni punto rilevato, è inserito in uno spazio georeferenziato e possiede coordinate tridimensionali molto precise; il loro insieme quindi permette di ricostruire lo spazio fisico reale. La costruzione della scena *per punti*, dalla quale poi può essere ricavato lo spazio volumetrico, è tuttavia un metodo che presenta diversi limiti:<sup>350</sup> per prima cosa l'acquisizione e elaborazione di una scena tramite *laser scanner* comporta lunghi tempi di esecuzione; inoltre le informazioni ottenute tramite questo metodo possono essere influenzate dalla scarsa illuminazione ambientale e dai movimenti della piattaforma, fattori che rendono necessarie diverse fasi di aggiustamento e aggiornamento dei dati raccolti.<sup>351</sup>

Per questo la maggior parte dei risultati di questa tecnica sono stati finora conseguiti in contesti "statici" e in ambienti interni e non è facile immaginarla applicata ad un drone che si muove ad alta velocità evitando simultaneamente oggetti e ostacoli; probabilmente tutto questo sarà possibile in condizioni ambientali reali solo se la sensibilità e la velocità degli strumenti di acquisizione di tipo *attivo* aumenterà significativamente.<sup>352</sup>

Tra le tecniche di ricostruzione della scena che rientrano invece tra quelle *passive* vi è il riconoscimento degli oggetti attraverso l'analisi delle immagini acquisite mediante sensori ottici, generalmente una o più fotocamere. Il riconoscimento degli oggetti è una delle tecniche che stanno alla base della *Computer vision* e il suo funzionamento si basa sull'individuazione di specifiche caratteristiche (*classi*) presenti in un'immagine; una volta che queste caratteristiche vengono determinate mediante un processo che viene definito di *codifica* l'oggetto, se corrispondente ad un

<sup>348</sup> Kanellakis C., Nikolakopoulos G., 2017, *op. cit.*

<sup>349</sup> i *blocchi volumetrici* vengono definiti anche con il termine di *Voxel (Volumetric picture element)*

<sup>350</sup> Kanellakis C., Nikolakopoulos G., 2017, *op. cit.*

<sup>351</sup> *ibidem*

<sup>352</sup> *ibidem*

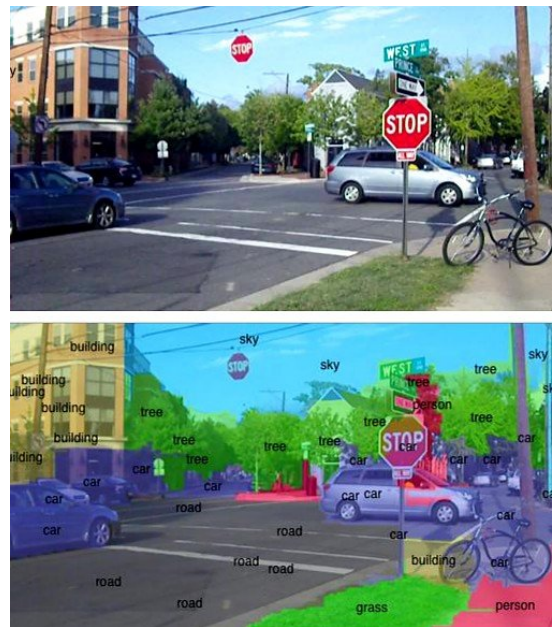
determinato *set*, viene quindi correttamente definito e classificato. L'intera operazione viene qualificata con il termine di *classificazione ad oggetti*.<sup>353</sup>

Il riconoscimento degli oggetti è possibile solo attraverso l'implementazione di una adeguata intelligenza nell'unità che controlla il veicolo senza pilota; senza questa capacità il concetto di volo autonomo si ridurrebbe all'esecuzione di un piano di volo predefinito, cosa che con le attuali tecnologie è già perfettamente possibile ma che non rappresenta l'obiettivo finale che si intende perseguire.<sup>354</sup>

Si tratta invece di una sfida di altro tipo; se una delle caratteristiche che devono essere ottemperate è quella della mobilità della piattaforma, nella navigazione realmente autonoma le variabili, il parallelismo delle operazioni, la velocità di reazione che entrano in gioco sono tali da richiedere una capacità di calcolo che le moderne unità elaborative non sono ancora in grado di assicurare. Una delle proposte per risolvere questo problema è quella di utilizzare le tecniche di apprendimento automatico cosiddette di *Deep learning* che insegnano ai computer ad imparare attraverso degli esempi.<sup>355</sup>

Si tratta di una attività naturale per l'uomo, non certo per una macchina, che si basa su una metodologia simile a quella applicata dal nostro cervello nella fase di apprendimento (per questo motivo si parla di *reti neurali*); analogamente a quanto avviene nella mente umana, la macchina svolge la classificazione delle immagini attraverso una forma di apprendimento eseguita utilizzando delle grandi serie di *dati etichettati*.<sup>356</sup>

Questa tecnica sta ottenendo risultati che non sembravano possibili negli anni '80 quando è stata inizialmente teorizzata; solo oggi infatti è disponibile la potenza elaborativa necessaria a gestire la grande quantità di dati costituita da milioni di immagini o migliaia di ore di video necessarie all'apprendimento di un computer.<sup>357</sup> In particolare, le nuove sempre più potenti GPU<sup>358</sup> delle moderne schede video dei personal computer, che sfruttano un alto livello di efficienza e parallelismo elaborativo, sembrano essere lo strumento più adatto a svolgere gli enormi calcoli matematici necessari a questo scopo.<sup>359</sup> La tecnica del *Deep learning* sta alla base del funzionamento delle automobili a guida autonoma poiché consente a questi veicoli di riconoscere la segnaletica stradale o gli ostacoli su un percorso (**Figura 65**).



**Figura 65:** un esempio di riconoscimento degli oggetti attraverso tecniche di apprendimento di tipo *Deep learning*; la sfida è farlo in tempo reale e su piattaforme mobili (fonte: Purdue University / e-Lab)

<sup>353</sup> Kanellakis C., Nikolakopoulos G., 2017, *op. cit.*

<sup>354</sup> *cf.* Paragrafo 4.7.2 sullo sviluppo delle piattaforme autonome

<sup>355</sup> Kanellakis C., Nikolakopoulos G., 2017, *op. cit.*

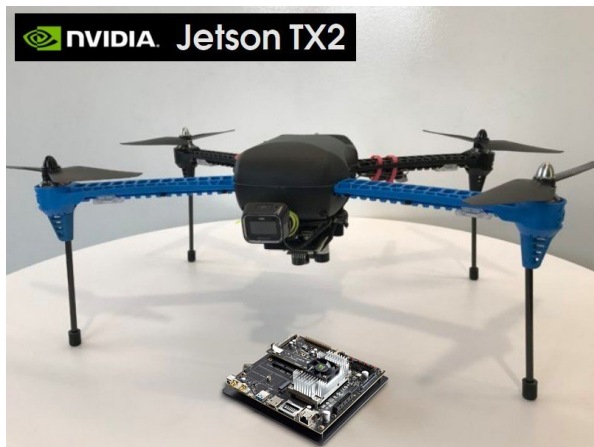
<sup>356</sup> Maiani F., 2016, Applicazioni e limiti della classificazione di immagini con reti neurali convoluzionali in dispositivi mobili

<sup>357</sup> *ibidem*

<sup>358</sup> GPU (*Graphics Processing Unit*): unità di elaborazione grafica che contende alle unità di elaborazione centrale (CPU), il cuore di ogni personal computer, le funzioni computazionali e di calcolo che prima erano loro esclusivamente riservate

<sup>359</sup> A tal proposito *cf.* "From gaming to AI computing" alla Voce Nvidia Corp. in SITOGRAFIA

Tuttavia, nonostante l'elevata capacità di calcolo oggi disponibile rispetto al passato questa tecnica, se eseguita in tempo reale e su piattaforme mobili di ridotte dimensioni, presenta dei forti limiti dovuti alla complessità delle operazioni computazionali necessarie e al peso e all'ingombro che le unità elaborative dovrebbero avere per poter svolgere questi compiti.



**Figura 66:** il Jetson TX2 (sotto) è un esempio di dispositivo compatto e a basso consumo energetico in grado di svolgere in tempo reale le complesse operazioni di *Computer vision* necessarie alla navigazione autonoma di uno UAV (fonte: Nvidia Corp.)

Tale limite è stato solo recentemente superato grazie all'utilizzo delle cosiddette *reti neurali convoluzionali* o CNN, una categoria delle tecniche di apprendimento che fanno capo al campo del *Deep learning*.<sup>360</sup> Le reti CNN, per la loro conformazione, sfruttano appieno il parallelismo elaborativo delle GPU e permettono di svolgere le operazioni di riconoscimento e classificazione degli oggetti in maniera molto veloce, efficiente e accurata, sfruttando risorse *hardware* finalmente disponibili anche per le piattaforme mobili.<sup>361</sup>

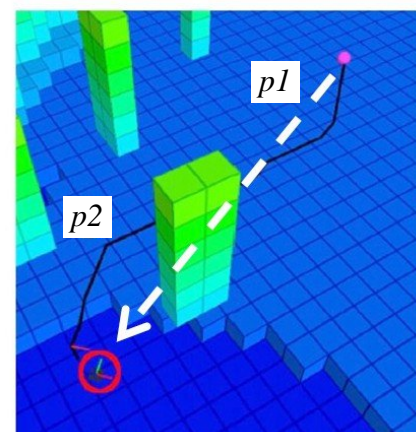
Un esempio su tutti è la scheda Jetson TX2 sviluppata da Nvidia esplicitamente per i compiti della *Computer vision* e che dispone

di una potenza di calcolo molto elevata ma di dimensioni e consumo energetico tali da poter essere facilmente integrata e trasportata da uno UAV (**Figura 66**). Siamo solo agli inizi: anche se sarà necessaria una lunga fase di sperimentazione che riguarda affidabilità e sicurezza, si ritiene che l'utilizzo delle tecniche del *Deep learning* rappresenta probabilmente la giusta direzione per rendere veramente autonomo il volo di questi veicoli.<sup>362</sup>

### Riconoscimento e aggiramento degli ostacoli

La capacità di evitare o di aggirare gli ostacoli è un'altra delle caratteristiche che si rendono necessarie al fine della navigazione autonoma. Nel caso dei droni rispetto ai veicoli terrestri (*rover*), questo aspetto ha una importanza ancora maggiore poiché una collisione in volo può avere conseguenze ben più gravi rispetto all'urto con un oggetto quando ci si muove a livello del suolo.<sup>363</sup> Per comprendere come funziona il concetto si può fare riferimento alla **Figura 67** nella quale viene rappresentato il movimento di un veicolo in un ambiente caratterizzato dalla presenza di ostacoli.<sup>364</sup>

Si esamini il caso più semplice di un singolo oggetto che si trova lungo la traiettoria del veicolo. Dopo che è avvenuta la



**Figura 67:** stima della traiettoria per evitare un ostacolo posto lungo un percorso (fonte: Nieuwenhuisen M. et al., 2016, *op. cit.* / rielaborazione Autore)

<sup>360</sup> Kanellakis C., Nikolakopoulos G., 2017, *op. cit.*

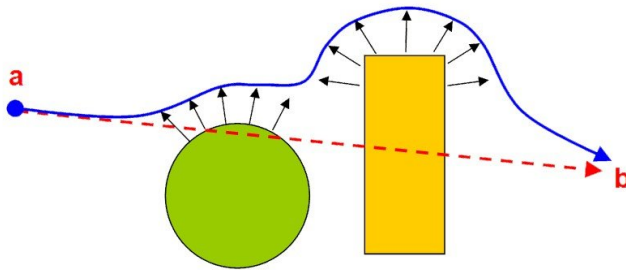
<sup>361</sup> Radovic M. et al., 2017, *op. cit.*

<sup>362</sup> *ibidem*

<sup>363</sup> Kanellakis C., Nikolakopoulos G., 2017, *op. cit.*

<sup>364</sup> Nieuwenhuisen M. et al., 2016, Autonomous navigation for micro aerial vehicles in complex environments

ricostruzione dell'ambiente circostante e tutti i possibili ostacoli sono stati individuati attraverso una rappresentazione volumetrica degli oggetti visibili, si tratta di far muovere il veicolo tra due punti secondo un tracciato che rappresenta un percorso *ottimale*. L'UV può scegliere tra due diversi percorsi: il primo (*p1*) minimizza le distanze tra i punti ma non evita l'ostacolo che invece viene considerato nel secondo (*p2*).<sup>365</sup>



**Figura 68:** esempio di aggiramento di una serie di ostacoli grazie all'utilizzo dei campi potenziali attorno agli oggetti (fonte: Nieuwenhuisen M. et al., 2016, *op. cit.* / rielaborazione Autore)

Nella determinazione del percorso ottimale può essere inclusa una scala di valori e di priorità che tenga conto, da una parte, che la distanza tra i due punti deve essere coperta in maniera *sicura* aggirando l'ostacolo, dall'altra che lo spostamento deve presentare il minore consumo energetico. Per assecondare questi due requisiti si può tenere conto della teoria dei cosiddetti *campi potenziali*.<sup>366</sup> l'idea è quella di circondare

gli ostacoli della scena di un campo potenziale artificiale dal quale il veicolo, in movimento lungo una traiettoria, viene respinto. Nell'esempio in **Figura 68** gli oggetti spingono lontano da loro il veicolo che è in movimento dal punto iniziale (*a*) a quello finale (*b*), secondo una traiettoria che idealmente dovrebbe essere rettilinea (*linea spezzata rossa*) ma che in un percorso reale (*linea continua blu*), tracciato autonomamente, è la risultante tra la forza di attrazione verso il punto (*b*) e le forze di repulsione quando il veicolo si avvicina ai due ostacoli.<sup>367</sup>

### Tracciamento del percorso ottimale

L'obiettivo del tracciamento del percorso ottimale viene conseguito combinando le tecniche esaminate precedentemente, partendo dal metodo della ricostruzione dell'ambiente circostante e passando per la tecnica di riconoscimento degli ostacoli, in un processo che viene aggiornato costantemente durante la navigazione del veicolo.<sup>368</sup>

Nel caso di un ambiente reale, cioè in presenza di ostacoli, il sistema di *Computer vision* a bordo del veicolo svolge questa operazione lungo tutto il percorso, riconoscendo i vari oggetti presenti nello spazio circostante, determinando di volta in volta le traiettorie per evitarli e percorrendo l'intero tragitto in maniera ottimale. In **Figura 69** viene rappresentato schematicamente il concetto: dopo aver ricostruito la complessità dell'ambiente circostante e aver determinato la posizione degli oggetti presenti nella scena al momento iniziale *t1*, il velivolo senza pilota che deve percorrere lo spazio tra un punto (*a*) e un punto (*b*) e ritorno, imposta il percorso ottimale ad ogni momento successivo (*t2*, *t3*...) ricostruendo la scena circostante di volta in volta finché l'intero percorso viene completato.<sup>369</sup>

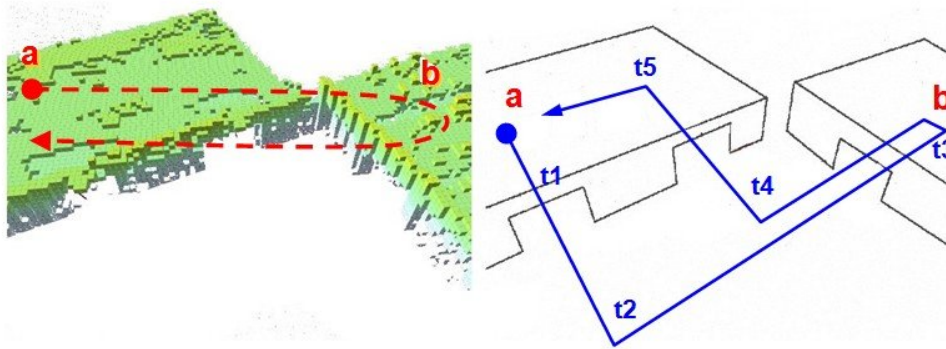
<sup>365</sup> Nieuwenhuisen M. et al., 2016, *op. cit.*

<sup>366</sup> Ge S., Cui Y., 2002, Dynamic motion planning for mobile robots using potential field method

<sup>367</sup> *ibidem*

<sup>368</sup> Nieuwenhuisen M. et al., 2016, *op. cit.*

<sup>369</sup> *ibidem*



**Figura 69:** percorso ideale (linea spezzata rossa) e percorso effettivo (linea continua blu) in un ambiente complesso (a sinistra) che viene semplificato in un processo di ricostruzione (a destra) della scena reale (fonte: *Nieuwenhuisen M. et al.*, 2016, *op. cit.* / rielaborazione Autore)

#### 4.7.4. Lo sviluppo del mercato dei droni per l'agricoltura

La tecnologia degli UV nasce essenzialmente in campo militare e successivamente, grazie ai processi di *trasferimento tecnologico*,<sup>370</sup> è stata applicata al settore civile e industriale. E' qui che avviene il grande sviluppo del mercato dei droni al quale oggi assistiamo e che ha prodotto una grande varietà di applicazioni che spaziano dal controllo degli incendi, all'ispezione delle linee elettriche, al sorvolo di zone colpite da disastri naturali, alle riprese video, ecc.

Tuttavia, tra le varie applicazioni, è proprio nel campo dell'agricoltura che molti ritengono si svilupperà il cosiddetto *big market*;<sup>371</sup> l'ambito militare e quello della sicurezza giocano ancora un grosso ruolo, ma in questi settori si stanno presentando limiti di tipo economico che fanno pensare che nel prossimo futuro i settori trainanti saranno altri, sicuramente quelli collegati al settore agricolo e allevativo.<sup>372</sup> Inoltre i veicoli senza pilota possono facilmente integrarsi con gli strumenti già utilizzati nell'agricoltura di precisione,<sup>373</sup> rispondendo alla necessità pratica degli agricoltori di disporre di mezzi sempre più precisi ed efficaci, consentendo maggiore resa e produttività delle coltivazioni.<sup>374</sup>

##### Alcuni impieghi operativi

In una riflessione generale sull'impiego dei droni in agricoltura o nell'allevamento animale, è dimostrato che questa tecnologia può aiutare gli operatori in vari momenti della loro attività; le potenzialità sono molte ma vale la pena capire quali sono le sue possibili applicazioni in questi settori. I droni si stanno dimostrando di grande utilità per chi ha il compito di gestire risorse agricole o naturali; grazie al loro utilizzo infatti è possibile ridurre enormemente i tempi e i costi necessari per svolgere le verifiche e i sopralluoghi *sul campo*.<sup>375</sup> Gli UAV possono fornire agli agricoltori e agli allevatori una visione dall'alto e di insieme della loro attività, permettendo loro di comprendere quello che difficilmente è possibile rilevare da un semplice sopralluogo all'altezza del terreno.

<sup>370</sup> il *trasferimento tecnologico* è un processo attraverso il quale alcune tecnologie, sviluppate in ambiti ristretti come, ad esempio quello militare, governativo o di ricerca, vengono poi trasferite ad una più ampia gamma di utenti che possono svilupparle ulteriormente

<sup>371</sup> *Ackerman S.*, 2013, Drone boosters say farmers, not cops, are the biggest U.S. robot market

<sup>372</sup> *ibidem*

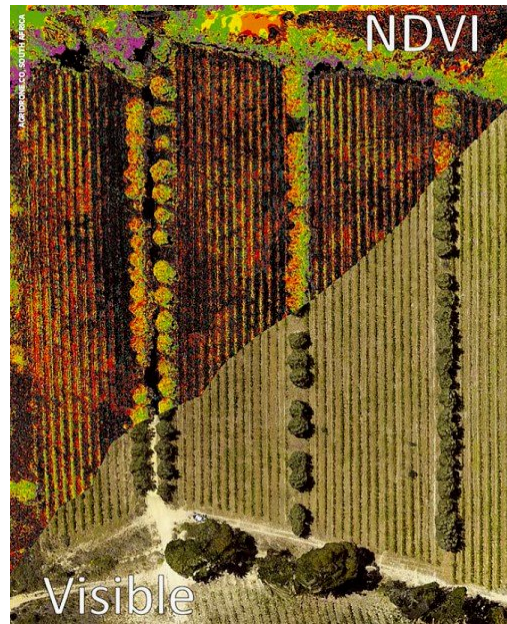
<sup>373</sup> *cfr.* il Paragrafo 4.2 dove si descrive come questi strumenti si applicano al settore agricolo e allevativo

<sup>374</sup> *Ackerman S.*, 2013, *op. cit.*

<sup>375</sup> *Greenwood F.*, 2016, Drones on the horizon: new frontier in agricultural innovation

Questi mezzi, se dotati di sensori speciali, sono inoltre in grado di raccogliere immagini multispettrali di tipo NDVI o all'infrarosso ad un costo molto basso, permettendo agli agricoltori di verificare i cambiamenti sui loro suoli altrimenti invisibili all'occhio umano,<sup>376</sup> ad esempio, facendo riferimento alla **Figura 70**, una immagine generata da sensori NDVI (parte superiore dell'immagine) permette di determinare lo stato di salute di una vigna, dove il vigore delle colture (colore verde) si contrappone all'effetto causato da fattori di *stress* (colore rosso), cosa impossibile da determinare da una semplice immagine se questa è semplicemente osservata nello spettro del visibile.

Questo tipo di informazioni possono essere usate per una moltitudine di compiti: uno di questi è la possibilità di svolgere una stima più accurata dei raccolti ma possono essere utilizzate anche per una valutazione dei danni dovuti ad eventi naturali,<sup>377</sup> per svolgere stime sui volumi di produzione agricola, per creare modelli idrogeologici dei terreni o per raccogliere i dati necessari alla generazione di mappe digitali di elevazione (DEM) così come illustrato in **Figura 71**.<sup>378</sup> Ci sono inoltre diversi esempi di un loro utilizzo a supporto di una corretta pianificazione delle risorse naturali e dei relativi processi decisionali; grazie alle informazioni prodotte da queste piattaforme è possibile comprendere se queste scelte sono corrette o sono sotto-dimensionate rispetto alle reali necessità.<sup>379</sup>



**Figura 70:** immagine generata da sensori NDVI permette di determinare lo stato di salute delle colture (fonte: Agribotix LLC)



**Figura 71:** rappresentazione reale (a sinistra) e visualizzazione del rispettivo modello 3D (a destra) di un territorio agricolo prodotta da un'immagine acquisita da una piattaforma UAV (fonte: STARS Project)

<sup>376</sup> Greenwood F., 2016, *op. cit.*

<sup>377</sup> *ibidem*

<sup>378</sup> una mappa DEM (*Digital Elevation Model*) è la rappresentazione tridimensionale del territorio creata attraverso i dati di elevazione di vari punti del terreno

<sup>379</sup> *cf.* STARS Project in SITOGRAFIA



Chi gestisce un'attività ora ha a disposizione gli strumenti che permettono la riduzione dei tempi e dei costi di molte pratiche agronomiche e allevative; proprio grazie all'utilizzo di UAV, con i loro bassi costi di esercizio è stato possibile soddisfare queste necessità, ancora più stringenti nei paesi in via di sviluppo, per i quali le porte del campo dell'acquisizione delle immagini dal cielo era finora precluso (**Figura 72**).<sup>380</sup>



**Figura 72:** l'utilizzo degli UAV, con i suoi costi ridotti, ha permesso anche ai paesi in via di sviluppo di poter accedere al campo dell'aerofotogrammetria e del *remote sensing* (fonte: GMX Consulting Ltd.)

Proprio con l'aiuto dei droni applicati al campo agricolo infatti, alcuni paesi africani stanno iniziando a muovere grandi passi nell'ambito dell'agricoltura di precisione.<sup>381</sup> Come in agricoltura, gli UAV possono essere utilizzati per il controllo e il monitoraggio degli animali da pascolo, dove vi è la necessità di localizzare i singoli capi in territori con una grande estensione geografica; non mancano inoltre esempi di un loro utilizzo nel campo del controllo e della deterrenza dei fenomeni di bracconaggio o di attività illegali in aree protette.<sup>382</sup> La tecnologia degli UAV è quindi una risorsa che si sta rivelando molto preziosa per monitorare e gestire importanti risorse naturali, permettendo alle agenzie governative di velocizzare le attività di ispezione supportandone così l'intervento.<sup>383</sup>

### Un mercato in grande crescita

Il mercato degli UAV è cresciuto enormemente in questi ultimi anni dimostrando di essere in grado di venire incontro alle esigenze di chi opera in diversi campi professionali tra i quali quello agricolo e allevativo. Alcuni studi recenti stimano che il mercato globale dei droni commerciali crescerà dai 500 milioni di dollari del 2014 agli oltre 2 miliardi di dollari entro il 2022, con il settore dell'agricoltura che come si è già detto sarà dominante rispetto ad altri.<sup>384</sup>

Il Nord America produce attualmente la maggior parte delle tecnologie nel settore dei velivoli UV impiegati nel settore commerciale, industriale e militare; l'Europa si colloca al secondo posto, mentre la domanda e la produzione di droni nel resto del mondo è ancora indietro di diverse lunghezze; nel prossimo futuro è attesa una fortissima crescita proveniente proprio dal mercato asiatico e del medio oriente per le ragioni che verranno esaminate più avanti.<sup>385</sup>

Sono diverse le società che rivestono un ruolo chiave in questo settore tra le quali Lockheed Martin, AeroVironment Inc., General Atomics, Israel Aerospace Industries, ecc. Altri produttori come la cinese DJI o la francese Parrot SA sono invece orientate verso un segmento più *consumer* anche se non mancano nel loro catalogo prodotti e soluzioni di tipo professionale.

<sup>380</sup> *Le Q.*, 2016, A bird's eye view on Africa's rice irrigation systems

<sup>381</sup> *ibidem*

<sup>382</sup> *Tushev N., Ellis C.*, 2016, Documenting illegal land occupancy from the air

<sup>383</sup> *ibidem*

<sup>384</sup> *cfr.* la voce Grand View Research Inc, Agriculture drone market to reach \$2 billion by 2022 in SITOGRAFIA

<sup>385</sup> *cfr.* la **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** 116 per le stime della FAO sul consumo di prodotti agricoli e di derivazione animale in questi mercati

Se i droni si stanno rivelando indubbiamente una tecnologia promettente ci sono tuttavia ancora una serie di ostacoli e di incognite da superare prima che questi dispositivi entrino a far parte della cosiddetta *cassetta degli attrezzi* dell'agricoltore o dell'allevatore.<sup>386</sup> Ad esempio già una decina di anni fa un agricoltore, in modo amatoriale, poteva acquistare un drone, farlo volare con appesa una fotocamera digitale di tipo commerciale e capire se questa tecnologia poteva essere utile per espandere il proprio *business*; tuttavia è solo recentemente però che si è assistito ad un vero e proprio *boom*, quando società specializzate hanno cominciato a commercializzare non solo le piattaforme e i singoli strumenti ma anche i *servizi* pensati appositamente per un utilizzo in campo agricolo nella logica più *del servizio che del prodotto*.<sup>387</sup>

Questi droni sono leggeri, modulari, guidati da una sistema GPS, compatibili con i più diffusi sistemi di acquisizione di immagini multispettrali o termiche e, per volare, non richiedono competenze specialistiche particolari; i relativi servizi comprendono l'interpretazione delle immagini, la loro analisi a fini agricoli, la pianificazione delle missioni di volo, ecc. In questa direzione si sta diffondendo l'uso di offrire soluzioni *chiavi in mano* che comprendono, oltre al velivolo, al sistema di controllo e ai sensori specifici per la missione, anche il *software* dedicato per l'analisi e l'interpretazione delle informazioni acquisite, oltre che ovviamente il relativo supporto tecnico. E tutto questo ad un prezzo che, per chi lavora in questo campo professionalmente, non è altro che una variabile come le altre (**Figura 73**).

**Agricultural Intelligence Total Package**  
Jump Start Your Precision Program

- senseFly eBee 50 Drone**
  - Up to 620 ac (250ha) per flight
  - eMotion Ag
  - Dedicated support
  - Sequoia Multispectral Sensor
- 4 Months FarmLens Subscription**
  - Field Health Report
  - Variable Application Report
  - High Resolution Processing
  - Professional Support

All for just **\$9,490\***  
\*Excludes import duties and taxes. US/Canada only.

**Save more than \$1,500**  
Offer ends September 15, 2017  
Contact Agribotix Today at  
720-295-3625 - info@agribotix.com

**Agribotix**  
Agricultural Intelligence. Drone enabled.

**senseFly**  
a Parrot company

**Figura 73:** alcune società, per l'impiego dei droni in campo agricolo, sono in grado di offrire soluzioni *chiavi in mano* (fonte: Agribotix LLC)

Ovviamente la questione dei costi è un fattore determinante nello sviluppo e diffusione di qualsiasi tecnologia ma, al fine del suo successo commerciale, è importante anche il modo in cui un prodotto viene venduto. Facciamo un esempio comparativo esaminando due UAV per impiego agricolo e, utilizzando il metro del costo di acquisto, definiamo il primo di "fascia alta" mentre l'altro di "fascia bassa". Nel primo caso rientra uno dei primi droni ad essere stato esplicitamente realizzato per l'agricoltura di precisione, l'RMAX della Yamaha,<sup>388</sup> progettato per poter trasportare un carico utile fino a 20 kg (**Figura 74**).

<sup>386</sup> Greenwood F., 2016, *op. cit.*

<sup>387</sup> *ibidem*

<sup>388</sup> sul mini elicottero RMAX *cfr.* la voce Yamaha Motor Corp. in SITOGRAFIA

Si tratta di un velivolo particolare, dalle grandi dimensioni (il rotore principale misura più di 3 metri di diametro), che pesa più di 60 kg, dotato di motore a scoppio e progettato esplicitamente per irrorare i campi coltivati attraverso la tecnica dello *spraying*.<sup>389</sup> Questo UAV è stato introdotto nel 1990 per il mercato giapponese; si tratta di un velivolo senza pilota, che ha costi di acquisto e gestione molto elevati ma che, per capacità di carico, autonomia di volo e affidabilità, rappresenta una piattaforma ideale per lo sviluppo di moltissime applicazioni.<sup>390</sup>



**Figura 74:** il Yamaha RMAX è stato uno dei primi elicotteri pilotati ad essere stato realizzato per l'agricoltura di precisione (fonte: Yamaha Motor Corp.)

Per una scelta deliberata però, è solo nel 2015 che l'RMAX ha ricevuto l'autorizzazione da parte dell'Ente Federale per l'Aviazione generale (FAA) per potere operare negli Stati Uniti in campo agricolo, ed è solo dal 2017 che viene offerto commercialmente in quel paese mentre in Europa questa opzione è ancora in discussione.<sup>391</sup> <sup>392</sup> Su questa scelta evidentemente entrano in gioco altri fattori oltre ai costi di gestione come l'opportunità commerciale, il rischio industriale o la sicurezza: se in mani sbagliate, in quanti modi pericolosi o illegali potrebbe essere utilizzato un UAV capace di un carico



**Figura 75:** il drone DJI Agras MG-1 come soluzione commerciale per lo *spraying* sulle colture (fonte: DJI Ltd.)

utile così importante?

In ogni caso lo spazio commerciale lasciato libero da taluni diventa spesso un'opportunità per altri, permettendo l'affermazione sul mercato di alternative magari più economiche nei costi di gestione. Ne è un esempio il drone Agras Mg-1 (**Figura 75**) della DJI, anche questo progettato per l'impiego operativo dello *spraying* su colture, ma che nasce come soluzione più commerciale rispetto all'RMAX. In un confronto tra i due UAV, solo per avere un paragone tra quanto disponibile ai due estremi del mercato, anche l'Agras è capace di portare un carico utile di circa 10 kg, ma la sua autonomia di volo non è comunque superiore ai 10 minuti mentre l'RMAX può arrivare anche ad un ora di

volo. Oltre ai limiti di autonomia oraria il problema è anche quello dell'affidabilità; una piattaforma come l'RMAX utilizza componentistica di derivazione aeronautica e trae vantaggio da decenni di sviluppo e sperimentazione mentre l'Agras, che utilizza componenti di derivazione hobbistica, è un prodotto sicuramente meno affidabile.

<sup>389</sup> la tecnica dello *spraying* in agricoltura consiste nella nebulizzazione di sostanze liquide per diffondere antiparassitari in particolare modo sui frutteti o altre piante ad ampia chioma

<sup>390</sup> cfr. il Paragrafo 8.3.2 per un esempio di impiego di questo velivolo

<sup>391</sup> Inagaki K., 2015, Yamaha aims to unlock US and EU markets with agricultural drone

<sup>392</sup> cfr. la voce AgProfessional in SITOGRAFIA

Si tratta quindi di prodotti che presentano differenze sostanziali nella configurazione, nella costruzione e nelle modalità di utilizzo. Sono differenti i costi ma anche le modalità di gestione dei due velivoli: se il primo, per una scelta commerciale del produttore, non viene venduto ma se ne acquista il servizio, il secondo invece si compra in *kit* e si può utilizzare da soli.

Piattaforme diverse ma tuttavia pensate e impiegate per il medesimo impiego operativo; quale rappresenterà la scelta vincente per questo settore? Sarà solo il mercato a stabilire la soluzione che avrà maggior successo?

### **La necessità di regole chiare e condivise**

Oltre ai costi di acquisto e di gestione, la barriera più grande nell'uso degli UAV in campo agricolo è di anche di tipo essenzialmente regolatoria poiché molte nazioni, se da una parte lottano per mantenere gli UAV nell'ambito della legalità, dall'altra limitano in maniera stringente le aree di sorvolo e impongono regole molto rigide sull'uso dei droni, non solo a garanzia della sicurezza collettiva ma anche a tutela di questioni che vengono definite di *privacy* individuale.<sup>393</sup> Oltre a quella che potrebbe essere scambiata come una mancanza di coerenza da parte dei legislatori, ci si trova comunque di fronte ad una forte disomogeneità visto che vi sono alcuni paesi che, su questa materia, hanno introdotto delle regole molto precise e dettagliate e altri, invece, che non ne hanno affatto.<sup>394</sup>

Da più parti si è osservato che pretendere di regolamentare questo settore rischia di imporre limitazioni troppo restrittive e troppo onerose per chi ha la necessità di lavorarci, soprattutto se si fa riferimento alle imprese agricole medio-piccole, nelle quali le questioni di sicurezza e *privacy* forse non sono così importanti al fine dell'andamento dell'azienda. Probabilmente sarà necessario trovare un compromesso tra chi vorrebbe una totale liberalizzazione del settore e chi invece propone vi siano delle regole molto più stringenti di quelle attuali.

Il processo di creazione di queste regole è dunque ancora *in progress*; uno dei tentativi di creare prescrizioni che siano più chiare, condivise oltre che omogenee è quello rappresentato dall'istituzione dell'organizzazione internazionale JARUS (*Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems*),<sup>395</sup> costituita da esperti e rappresentanti delle istituzioni nazionali e regionali di vari paesi che si occupano di sicurezza in volo. Il compito di questa organizzazione è quella di adottare un unico *set di regole* internazionali che riguardano la sicurezza e l'operatività degli UAV affinché questi mezzi possano operare correttamente nello spazio aereo di ciascuna nazione aderente all'organizzazione.

La questione di mettere insieme sicurezza e diritto alla *privacy* in maniera armonica e coordinata giocherà un ruolo cruciale nello sviluppo futuro della tecnologia dei droni e il compito delle organizzazioni internazionali come JARUS o l'ICAO (*International Civil Aviation Organisation*), sarà fondamentale nello sviluppare gli standard più appropriati e nel prescrivere le migliori pratiche in questo campo.<sup>396</sup>

<sup>393</sup> Jeanneret C., 2016, Making sense of drone regulations

<sup>394</sup> *ibidem*

<sup>395</sup> per un approfondimento cfr. la voce JARUS Group in SITOGRAFIA

<sup>396</sup> Jeanneret C., 2016, *op. cit.*

#### 4.7.5. Impiego di sensoristica avanzata

Nel campo dell'agricoltura, come in quello forestale, si sta cercando di trovare soluzioni sempre più efficienti per risolvere le diverse problematiche che si pongono nella gestione delle risorse e per migliorare ogni aspetto dei vari processi. Rimanendo sulla questione della sensoristica imbarcata sugli



**Figura 76:** il sensore multispettrale Parrot Sequoia progettato espressamente per il mercato dei droni (fonte: Parrot SA)

strumenti.<sup>398</sup> Si tratta di dispositivi che potremmo definire specifici per missione, che può essere configurata di volta in volta, in quanto i moderni UAV permettono una certa interoperabilità e interscambiabilità relativamente al carico utile da imbarcare a seconda del compito che deve essere svolto.

Per quanto riguarda questo aspetto si deve evidenziare il grande sviluppo che hanno avuto in questi ultimi anni le fotocamere multispettrali, capaci di catturare immagini ambientali su bande molto precise dello spettro elettromagnetico, generalmente RGB e sul vicino infrarosso, producendo immagini che vengono poi interpretate da *software* dedicati.<sup>399</sup> La gamma di prodotti di questo tipo è molto vasta ed è notevole lo sforzo che si è fatto per integrare in un unico dispositivo il maggior numero di sensori;<sup>400</sup> a questa categoria di strumenti appartiene, ad esempio, il sensore multispettrale Sequoia della Parrot SA che, oltre alla parte di acquisizione delle immagini multispettrali ad alta risoluzione, è dotato di un proprio GPS, di un sensore inerziale e di un magnetometro, il tutto integrato in un contenitore dalle dimensioni di una scatola di fiammiferi (**Figura 76**). Il fatto che vi siano dispositivi fortemente integrati ha un grande vantaggio in termini di compatibilità e trasportabilità per qualsiasi piattaforma,



**Figura 77:** un sensore LIDAR progettato per essere utilizzato dagli UAV (fonte: Mapix Technologies)

<sup>397</sup> Pajares G., 2011, Advances in Sensors Applied to Agriculture and Forestry

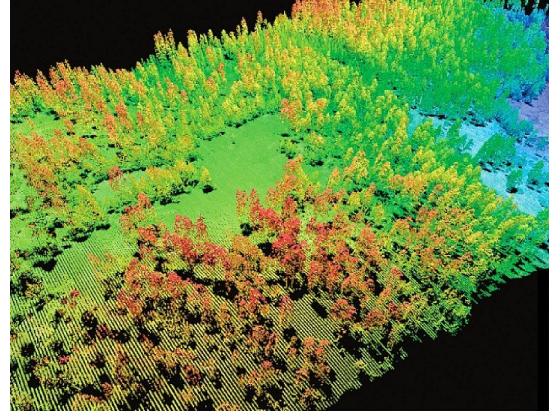
<sup>398</sup> sugli indici NDVI, NDRE e LAI cfr. Nota 150 e Nota 151

<sup>399</sup> Pajares G., 2011, *op.cit.*

<sup>400</sup> *ibidem*

soprattutto se aerea, quando si presentano vincoli per quanto riguarda il peso e l'ingombro del carico utile trasportabile.<sup>401</sup>

Proseguendo in questa analisi della sensoristica avanzata disponibile per le piattaforme mobili senza pilota, si riporta come vi sia stato un notevole sviluppo e diffusione anche di sensori di tipo LIDAR, che hanno raggiunto un notevole livello di compattezza e trasportabilità (**Figura 77**). Come descritto precedentemente, questo tipo di tecnologia viene generalmente impiegata in campo meteorologico ma ha recentemente visto applicazione anche in agricoltura o nella gestione delle risorse forestali.<sup>402</sup> Può infatti essere utilizzata per monitorare l'erosione dei suoli, per creare modelli tridimensionali delle aree coltivate o della copertura delle stesse colture, oltre che per stimare il numero e la concentrazione degli alberi, siano essi conifere o a foglie caduche (**Figura 78**). La strumentazione Lidar riesce ad esprimere al massimo le sue potenzialità in tema di acquisizione di dati, riuscendo a rilevare la misura delle singole foglie degli alberi, proprio perchè utilizzata a bordo di un drone, che riesce ad operare a quote molto bassa.<sup>403</sup>



**Figura 78:** esempio di applicazione Lidar in campo forestale per determinare numero e concentrazione di piante ad alto fusto (fonte: University of California)

Segue una lista non esaustiva della sensoristica avanzata che potrebbe essere trasportata su piattaforme UAV (**Tabella 2**), con una breve descrizione dei possibili impieghi nel settore agricolo:

<i>tipologia</i>	<i>impiego nel settore agricolo</i>
sensori per la spettroscopia all'infrarosso	valutazione della differenza strutturale delle cellulose di varia origine
sensori capacitivi	misurazione dell'umidità del suolo
riflettometri	determinazione dl livello di umidità dei frutti
sensori ad ultrasuoni	analisi delle coperture fogliari
sensori optronici	riconoscimento delle piante infestanti
sensori per la misurazione del pH del suolo	misurazione del pH del suolo
attuatori autonomi	funzionamento dei sistemi di irrigazione
sensori ottici basati sulla fluorescenza	valutazione del grado di maturazione di alcuni frutti
termocoppie ad infrarosso	valutazione della temperatura fogliare al fine di monitorare lo stato fisiologico delle colture
sensori acustici	attraverso l'analisi dell'assorbimento dello spettro sonoro è possibile la classificazione delle sementi
sensori intelligenti basati su tecnologia FPGA <sup>404</sup>	analisi della traspirazione delle piante
sensori ottici e a microonde	caratterizzazione della copertura di alcune colture

**Tabella 2:** sensoristica avanzata che potrebbe essere trasportata su piattaforme mobili (fonte: Pajares G., 2011, op. cit.)

<sup>401</sup> Pajares G., 2011, op. cit.

<sup>402</sup> Wallace L. et al., 2012, Assessing the feasibility of UAV-based LIDAR for high resolution forest change detection

<sup>403</sup> *ibidem*

<sup>404</sup> dispositivo FPGA: circuito integrato le cui funzionalità sono programmabili più volte via software

#### 4.7.6. Prospettive

I veicoli senza pilota possiedono alcune caratteristiche che possono aiutarci a migliorare molte questioni del mondo che ci circonda. Particolarità come versatilità, leggerezza, capacità di trasportare velocemente un carico utile, riconfigurabilità, sono fattori in grado di aprire un mondo di possibilità ed è per questo che gli UV hanno avuto e stanno avendo particolare attenzione da parte del mondo della ricerca e un impiego in vari progetti.

Oltre al fatto che è immaginabile che il loro utilizzo sarà sempre maggiore,<sup>405</sup> non è facile descrivere con precisione quale sarà l'evoluzione di questi strumenti in campo agricolo e allevativo anche se si possono intravedere delle direzioni promettenti; una di queste è quella che riguarda lo sviluppo di sistemi "intelligenti" che saranno capaci, ad esempio, di riconoscere automaticamente varietà di piante diverse o catalogare e monitorare le specie vegetali, sapendo indirizzare gli operatori del settore verso i trattamenti più corretti ed efficaci in caso di malattie o patologie.<sup>406</sup> Lo svolgimento inoltre di queste operazioni in maniera automatica sarà utile per rendere la gestione delle risorse naturali un processo più efficiente e meno laborioso.<sup>407</sup>

Piattaforme UV più intelligenti di quelle attuali potranno essere utilizzate per rendere l'agricoltura di precisione un metodo sempre più accurato ed attento all'utilizzo di risorse che oggi vengono invece sprecate come ad esempio l'acqua, o delle quali spesso si abusa come ad esempio i prodotti chimici per il trattamento delle coltivazioni. Questi sistemi potranno essere utilizzati per individuare e eliminare con precisione insetti o altre specie dannose per la crescita delle culture, secondo modalità mirate che renderanno superfluo l'utilizzo degli attuali trattamenti chimici. Questo tipo di tecnologia può inoltre essere utilizzata per determinare la distribuzione e la posizione delle mandrie al pascolo, permettendo di raggiungere velocemente gli esemplari che necessitano di cure mediche urgenti.<sup>408</sup>

La comunità scientifica è concentrata ad affinare le tecniche e i metodi che riguardano la navigazione autonoma di questi veicoli cercando, ad esempio, di rendere la fase di localizzazione più accurata di quanto non sia attualmente, di migliorare la tecnica di ricostruzione dell'ambiente circostante e di affinare la capacità di riconoscimento degli ostacoli in ambiti applicativi che cercano di essere sempre più vicini al mondo reale. Tutto questo attraverso complessi algoritmi che necessitano di una grande capacità di calcolo e di tecnologie la cui integrazione avrà un ruolo fondamentale in questo processo.<sup>409</sup> L'obiettivo per arrivare alla realizzazione di sistemi affidabili, che permettano di svolgere una missione operativa in piena autonomia e in contesti reali, oggi non sembra più così distante.<sup>410</sup>

Andando più avanti, una delle prospettive più interessanti è quella dello sviluppo di UAV dotati di braccia robotiche capaci di manipolare oggetti, anche se si tratta di un obiettivo che pone non poche questioni riguardo alla stabilità, l'affidabilità e l'operatività di un sistema dotato di questo tipo di capacità.<sup>411</sup>

---

<sup>405</sup> *cf.* Nota 384

<sup>406</sup> Greenwood F., 2016, *op. cit.*

<sup>407</sup> *ibidem*

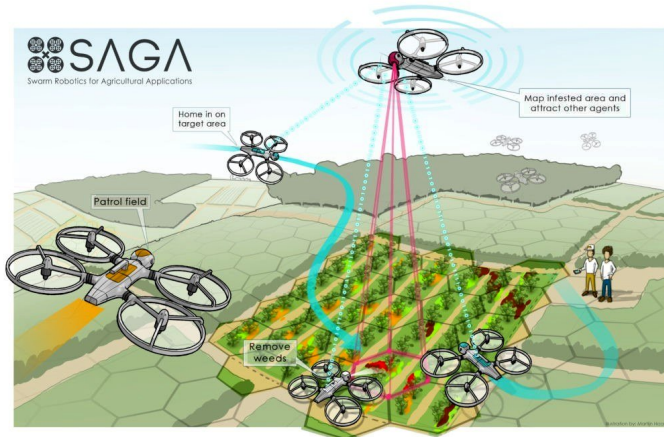
<sup>408</sup> *ibidem*

<sup>409</sup> Kanellakis C., Nikolakopoulos G., 2017, *op. cit.*

<sup>410</sup> Nieuwenhuisen M. et al., 2016, *op. cit.*

<sup>411</sup> *ibidem*

Inoltre si sta sviluppando un grande interesse riguardo all'utilizzo di piattaforme aeree in grado non solo di comunicare tra loro scambiando informazioni necessarie, ma anche capaci di agire in maniera cooperativa e secondo logiche di distribuzione del lavoro. Con il termine di *sciame di droni* infatti si identifica la possibilità degli UAV di operare in contesti nei quali l'azione combinata e cooperativa permetterebbe un maggior efficientamento dei compiti quali, ad esempio, l'ispezione, la ricerca e soccorso, il trasporto, gli impieghi in campo agricolo, ecc. Un esempio in questo senso è rappresentato dal progetto SAGA (*Swarm Robotics for Agricultural Application*) che ha come obiettivo quello di dimostrare l'applicabilità degli UAV nel campo dell'agricoltura di precisione al fine di monitorare in maniera collettiva e cooperativa lo stato di salute di un campo coltivato (**Figura 79**).<sup>412</sup>



**Figura 79:** il progetto SAGA come studio di applicabilità dell'utilizzo cooperativo di uno sciame di UAV per l'agricoltura di precisione (fonte: SAGA Project)

Parallelamente allo sviluppo dei sistemi autonomi e robotici si deve segnalare che anche nel settore della sensoristica si stanno realizzando dispositivi sempre più avanzati per la rilevazione e la classificazione dei vari fenomeni. Se la tendenza alla miniaturizzazione e all'integrazione di questi sistemi continuerà nello stesso modo in cui è avvenuta finora, probabilmente l'unico limite sarà la capacità di immaginazione dei possibili impieghi operativi.<sup>413</sup>

Appare evidente che acquisire e analizzare informazioni non è più un problema tecnologico; gli strumenti come quelli esaminati finora sono maturi, il loro livello di integrazione e trasportabilità è molto elevato così come elevate sono le capacità di analisi e restituzione dei software a corredo di questi prodotti che, analogamente a quanto sta avvenendo per i droni, tendono ad essere venduti sempre più come *servizio* piuttosto che come singolo prodotto.<sup>414</sup> Si ritiene invece che il vero problema sia quello di far dialogare queste tecnologie tra loro, facendole lavorare insieme su un'unica piattaforma che riesca a svolgere una serie di operazioni complesse e articolate; sembra proprio oggi che gli UAV abbiano incominciato ad avere le caratteristiche necessarie per poter svolgere questi compiti.

Relativamente all'ambito agricolo e allevativo, per realizzare questo obiettivo è comunque necessario che tutti gli attori coinvolti, dal contadino all'allevatore al legislatore che ha il compito di determinare la sicurezza e le regole in questo settore, incomincino a lavorare insieme per far operare queste tecnologie in un ambito di legalità, garantendo nello stesso tempo la sicurezza e il diritto alla *privacy* dei cittadini.<sup>415</sup>

<sup>412</sup> *cf.* la voce SAGA Project in SITOGRAFIA

<sup>413</sup> Greenwood F., 2016, *op. cit.*

<sup>414</sup> si veda, ad esempio, quanto riportato in Figura 73

<sup>415</sup> Greenwood F., 2016, *op. cit.*



## 5. SENSORISTICA DISTRIBUITA E GESTIONE DEI DATI

### 5.1. Sensoristica e Internet delle cose

Quello che rende lo *Smart farming* un'attività innovativa è il ruolo potenziale che possono avere in questo campo i sistemi integrati di telecomunicazione denominati anche ICT;<sup>416</sup> in altri termini si tratta di capire in che modo queste tecnologie aiutino a definire meglio il termine *Connected farm* (fattoria connessa) e quindi come questa definizione può essere tradotta nella realtà. Si tratta quindi di comprendere come questi sistemi possono essere utilizzati per raccogliere, gestire e interpretare i dati che derivano dallo svolgimento delle attività legate all'agricoltura e all'allevamento; un esempio in questo senso può essere dato dalla loro applicazione alla coltura dei vigneti: una serie di sensori connessi tra loro vengono installati in diverse posizioni all'interno dei filari e da questi è possibile ottenere informazioni utili sulle condizioni generali del terreno e sullo stato di salute delle piante così come mostrato (in relazione ad un'altra tipologia di colture) in **Figura 39**. I dati raccolti possono essere utilizzati per la prevenzione di malattie dannose per le vigne (ad esempio la peronospora), permettendo di salvaguardare la produzione dell'uva e, conseguentemente, del vino.

Si tratta di tecnologie che concorrono a definire la cosiddetta *Internet delle cose* (IoT)<sup>417</sup> in agricoltura. Sempre facendo riferimento a questo campo, i vantaggi pratici dell'utilizzo di questi strumenti si possono riassumere:

- nella capacità di analizzare in dettaglio e in tempo reale i dati provenienti dalle coltivazioni per comprenderne l'andamento;
- nel monitoraggio delle condizioni dell'ambiente per la prevenzione di malattie delle piante o degli animali da allevamento;
- nel tracciamento dei prodotti alimentari dai luoghi di produzione fino al punto vendita, con un conseguente aumento sia della sicurezza alimentare che del livello di consapevolezza del consumatore.

Le tecnologie dell'*Internet delle cose* permette di mettere insieme queste informazioni e di restituire una loro *visione multidimensionale* ed integrata.<sup>418</sup> Questo modo di vedere l'informazione in maniera "estesa" diventa fondamentale per migliorare, ad esempio, i sistemi decisionali all'interno dell'industria alimentare i quali funzionano meglio se fanno parte di un "ecosistema" informativo in grado di restituire un'informazione completa e aggiornata sui prodotti partendo dalla loro origine per

---

<sup>416</sup> ICT (*Information and Communication Technologies*): sistemi e infrastrutture che permettono agli utenti di creare, immagazzinare e scambiare informazioni

<sup>417</sup> L'*Internet delle cose* o *Internet of Things* (IoT) è una rete di oggetti dotati di tecnologie di identificazione che sono collegati fra di loro, in grado di comunicare reciprocamente e verso punti nodali di un sistema, ma soprattutto in grado di costituire un vasto network di *cose* dove ognuna di esse è rintracciabile per nome e posizione

<sup>418</sup> *visione multidimensionale* dell'informazione: visione che deriva dall'analisi di dati provenienti da fonti eterogenee che permettono l'interpretazione di fenomeni complessi

arrivare al consumatore. La diffusione delle tecnologie IoT applicate allo *Smart farming* è quindi destinata a crescere, anche perché l'urgenza dei problemi che il mondo deve affrontare in materia di sicurezza alimentare è sempre più alta; non a caso l'Expo del 2015 è stato dedicato all'alimentazione e alla nutrizione e ha cercato di comprendere come è possibile dare una risposta alla domanda di cibo sano, sicuro e sufficiente per tutti.

I costi dell'applicazione di queste tecnologie all'agricoltura sono ancora alti, tuttavia gli ostacoli principali nell'attuazione di questo modello sembrano essere legati più all'assenza di una dimensione di carattere culturale piuttosto che economica;<sup>419</sup> infatti uno dei principali ostacoli è di tipo comunicativo nei confronti di chi opera in questo settore e spesso, a causa dei troppi tecnicismi, gli operatori non vengono messi nella situazione di comprendere i reali vantaggi di queste soluzioni.<sup>420</sup> Proprio per questo, per poter essere meglio compreso e poi per poter essere applicato, il linguaggio del settore dell'IoT deve cambiare, ed è qui che si giocano realmente le potenzialità di quella che ha tutte le caratteristiche per essere una vera e propria rivoluzione.<sup>421</sup>

### 5.1.1. Limiti e prospettive delle reti sensoriali

Per attuare lo *Smart farming* si richiedono tecnologie di sensori e metodi specifici che spesso cambiano in base all'ambito di applicazione: infatti, sensori progettati per un impiego particolare difficilmente possono essere utilizzati per risolvere problemi diversi da quelli ai quali dovevano originariamente dare una risposta; ad esempio, quando un sensore pensato per un contesto specifico viene poi utilizzato in luoghi diversi vi è il rischio che non riesca a funzionare correttamente o che dia delle informazioni falsate. Diversamente invece, quando un'applicazione si basa su una rete di sensori interconnessi che lavorano in maniera collaborativa, è più facile che questa riesca a funzionare anche in contesti diversificati.<sup>422</sup> Inoltre è noto che un dispositivo quando utilizzato singolarmente, può avere qualche difficoltà quando è chiamato a leggere e interpretare problemi di tipo complesso.<sup>423</sup>

Non si tratta quindi solo di un problema di applicazione nel giusto contesto ma anche di come questi dispositivi vengono utilizzati: il paragone, ad esempio, può essere quello di alcune applicazioni nel campo della robotica dove le tecnologie che stanno dietro alla visione, al suono e alla sensibilità tattile devono essere considerati nel loro insieme soprattutto se l'obiettivo è quello di replicare le complesse funzioni del corpo umano. A questo fine l'uso dei singoli sensori non sarebbe sufficiente ma è solo grazie il loro uso combinato che lo scopo può essere raggiunto.<sup>424</sup>

In questi ultimi anni la sensoristica distribuita sta avendo una diffusione sempre più ampia: ad esempio alcuni sensori, soprattutto quelli di nuova generazione come i nasi elettronici (EN) esaminati nel Paragrafo 4.4.3, e che permettono di rilevare la presenza dei composti organici volatili nell'aria, sono proprio costituiti da strisce di singoli elementi che vengono però progettati per funzionare in maniera combinata.

---

<sup>419</sup> Romeo F., 2014, Analisi del fenomeno dei *Big data*

<sup>420</sup> *ibidem*

<sup>421</sup> *ibidem*

<sup>422</sup> *ibidem*

<sup>423</sup> Pajares G., 2012, Sensors in collaboration increase individual potentialities

<sup>424</sup> *ibidem*

Gli ambiti applicativi delle reti di sensori capaci di lavorare in questo modo sono ormai abbastanza vasti: per rimanere nel campo delle reti WSN ad esempio, si è assistito ad un grande sviluppo di algoritmi di localizzazione che, funzionando in maniera collaborativa, possono fare a meno dei sistemi GPS per determinare la posizione geografica.<sup>425</sup> In altri campi invece, tipo quello medico, l'approccio collaborativo ha permesso la realizzazione di sensori indossabili di tipo *wireless* che, in combinazione a sensori ambientali, permettono di monitorare in maniera efficiente le funzioni vitali come il battito cardiaco e la pressione del sangue durante le attività quotidiane.<sup>426</sup> Si vedrà più avanti come un approccio distributivo e collaborativo può essere efficacemente utilizzato per risolvere alcune delle problematiche che si emergono nelle idee progettuali.

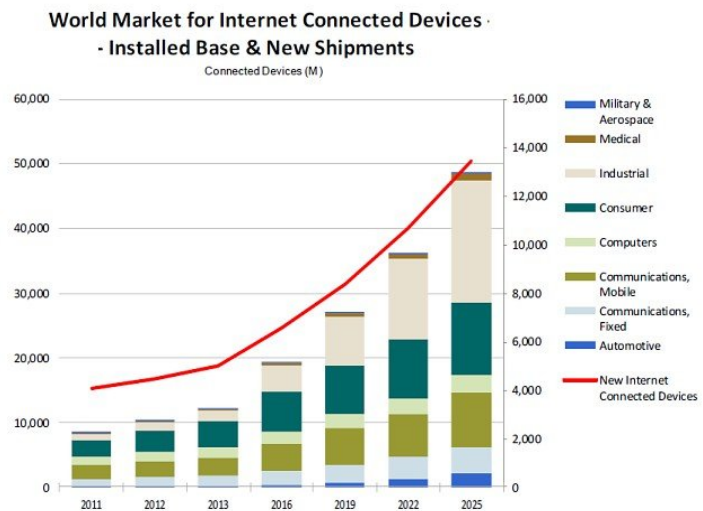
## 5.2. La sfida dei Big data

La recente esplosione delle reti di telecomunicazioni, combinata con l'affermarsi degli *smartphone*, il relativo flusso dati ma anche, come visto precedentemente, la sempre più grande diffusione della sensoristica distribuita, hanno fatto sì che uno dei termini ricorrenti degli ultimi anni nel mondo dell'informatica sia quello dei *Big data*, cioè i dati digitali prodotti da varie fonti in grande quantità, con notevole rapidità, nei formati più diversi, e che vengono gestiti e processati dalle banche dati centralizzate richiedendo però elevate capacità di calcolo.

Un'ulteriore conferma, riguardo al fatto che la tecnologia di estrazione e analisi di queste grandi quantità di dati subirà in futuro una crescita vertiginosa, è data dalla stima dal numero di utenti, di dispositivi e dei sensori che domani saranno collegati alle reti

digitali e che andranno sempre più ad alimentare quello che viene definita come l'*Internet of Things* (IoT) o *Internet delle cose* (**Figura 80**).<sup>427</sup>

Ad aumentare ulteriormente questo flusso informativo ci penserà poi la confluenza non solo di quello che viene prodotto dalle *cose* ma anche di quanto generato dalle *persone*, cioè le informazioni generate



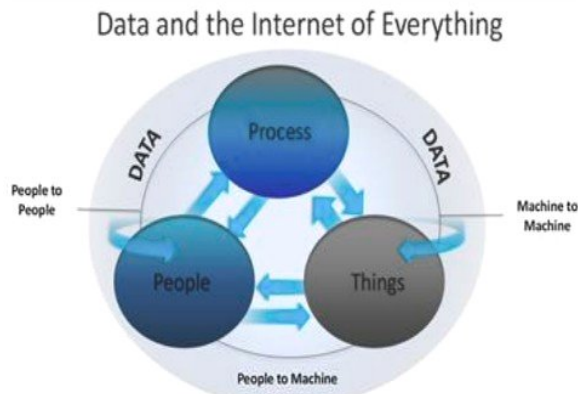
**Figura 80:** previsione 2011-2025 di crescita dell'*Internet delle cose* per vari settori (fonte: *Morelli B.*, 2013, *op. cit.*)

<sup>425</sup> Sahoo P., Hwang I., 2011, Collaborative localization algorithms for Wireless Sensor Networks with reduced localization error

<sup>426</sup> Nakamura M. et al., 2011, Collaborative processing of wearable and ambient sensor system for blood pressure monitoring

<sup>427</sup> Morelli B., 2013, Internet Connected Devices: Evolving from the "Internet of Things" to the "Internet of Everything"

dai *processi* che relazionano cose, persone e dati e che costituisce quello che viene definito come l'*Internet of Everything* (IoE) o *Internet di ogni cosa* (**Figura 81**).



**Figura 81:** dalla *Internet delle cose* alla *Internet di ogni cosa*  
(fonte: Cisco Systems)

Nell'elaborazione di questi scenari c'è anche chi va oltre, prevedendo che nella IoE confluiranno anche l'*Internet delle Nano Things* (IoNT) o *Internet delle nano cose*, cioè tutti quei dispositivi che utilizzano le nano tecnologie e che saranno applicati, ad esempio, al campo biomedico per monitorare costantemente le funzioni del corpo umano in qualsiasi luogo o condizione ambientale.<sup>428 429</sup>

La possibilità dei *Big data* di crescere è determinata in primo luogo dall'innovazione e dall'evoluzione degli strumenti tecnologici nel prossimo futuro, sicuramente dalla loro

capacità di gestire grandi quantità di dati, ma anche dall'evoluzione del comportamento tra gli utenti. Gli strumenti che saranno determinanti nel loro sviluppo sono in primo luogo le tecnologie volte alla ricezione, trasmissione e acquisizione di dati, in particolare i sensori, le videocamere e gli strumenti mobili di vario genere; in secondo luogo entra in gioco l'infrastruttura costituita da cavi, antenne, reti *wireless* grazie ai quali i dati possono muoversi e circolare. Determinante infine sarà il livello di elaborazione e memorizzazione nel quale il dato viene gestito, anche grazie alle risorse elaborative e computazionali già oggi disponibili come, ad esempio, il *cloud computing*.<sup>430</sup>

Ma quali sono le reali opportunità e le implicazioni che derivano dall'utilizzo di tecnologie in grado di raccogliere e analizzare grandi quantità di dati? Ad esempio, rimanendo in ambito aziendale, riunire in modo funzionale questa mole di dati può aiutare le organizzazioni a ridurre i costi, migliorare l'efficienza operativa e le *performance* produttive; si tratta comunque di un'innovazione le cui potenzialità vanno oltre agli ambiti aziendali e che inevitabilmente non potrà non investire il settore pubblico oltre che i cittadini. Questo fenomeno avrà necessariamente un impatto anche in altri settori, ad esempio in campo ambientale dove queste tecnologie possono essere utilizzate, ad esempio, per capire quanta foresta viene sacrificata ogni anno e quanta ne resta prima dell'eventuale estinzione.<sup>431</sup>

Anche se la questione dei *Big data* sta assumendo un ruolo fondamentale nell'economia attuale e sempre di più in quella futura, essa tuttavia apre le porta a non trascurabili questioni sociali: molti cittadini infatti, vedono nella raccolta di alcune informazioni che li riguardano un possibile attentato alla *privacy* e al diritto di non essere oggetto di pratiche che vengono definite di *profilazione informatica*.<sup>432</sup> Andrebbe forse spiegato in maniera più chiara che i dati raccolti in grande quantità possono svolgere non solo un ruolo economico significativo, ma possono anche essere portatrici di un

<sup>428</sup> Miraz M. et al., 2015, A Review on Internet of Things (IoT), Internet of Everything (IoE) and Internet of Nano Things (IoNT)

<sup>429</sup> si veda il Paragrafo 4.5.1 riguardo le potenzialità di sviluppo dei dispositivi MEMS e LOC

<sup>430</sup> *cloud computing*: tecnologia che permette di elaborare e archiviare dati in rete attraverso applicazioni che operano su hardware remoto invece che in locale

<sup>431</sup> si vedano le voci Portale UNEP Live e Portale Global Environment Outlook in SITOGRAFIA; si tratta di due piattaforme che utilizzano i *Big data* e che permettono di accedere e condividere dati e conoscenze ambientali provenienti da fonti globali, regionali e nazionali

<sup>432</sup> *profilazione informatica*: stesura di un profilo di un individuo mediante l'identificazione e la raccolta di alcuni dati personali che ne permettono di ricostruire le abitudini, i consumi, lo stile di vita, ecc.

beneficio sociale, ad esempio creando un principio di *consapevolezza* che sta alla base di un nuovo modo di produrre conoscenza che viene chiamato *Citizen science*.

In ogni caso le sfide alle quali va incontro chi oggi è chiamato a gestire i *Big Data*, che sia questo un soggetto pubblico o privato, sono tecnologicamente molto complesse e siamo ancora distanti dal saper sfruttare appieno, in positivo o in negativo, le potenzialità di questi grandi flussi informativi. Inoltre molte aziende non considerano ancora affidabile, al fine dei processi decisionali, i *dataset*<sup>433</sup> sui quali si basano questi strumenti e sono molto riluttanti nell'impostare le loro azioni su politiche derivanti dalla raccolta e dall'analisi dei dati che vengono definite come *fact-based* e *data-driven*.<sup>434</sup> Infine, oltre alle problematiche della *privacy* già accennate, restano aperte questioni non solo relative alla sicurezza ma anche alla proprietà di queste informazioni.

### 5.2.1. La necessità di una migliore gestione dei dati

Come si è visto, nel corso degli ultimi anni l'evoluzione tecnologica ha portato ad un tale incremento del numero dei dispositivi in grado di generare informazioni che, nel prossimo futuro, si prevede che la loro crescita sia soggetta ad una progressione di tipo esponenziale. Le stime parlano di un fenomeno senza precedenti, che non a caso viene definito come un *torrente che scorre in ogni area dell'economia globale*.<sup>435</sup> Forse, anche per questo, vi è la necessità di comprendere come ottimizzare le dimensioni e la frequenza di trasmissione dei dati prodotti dalla sensoristica distribuita che costituisce una parte sostanziale di questo *fiume di informazioni*.

Le fonti di informazioni che producono segnali "in continuo" e in automatico infatti non possono essere gestite con tecniche di tipo "tradizionale";<sup>436</sup> la mole di dati generati da questi dispositivi infatti è tale da imporre l'adozione di accorgimenti per fronteggiare possibili congestioni sulle infrastrutture di connessione rendendo necessarie logiche che ottimizzino le informazioni in ragione del campo di applicazione. Per questa ragione la fase nella quale il fenomeno rilevato viene tradotto in una grandezza fisica rappresenta un momento importante: se la frequenza non è un parametro determinante, un esempio di ottimizzazione potrebbe essere quello di sviluppare funzioni che elaborino le misure acquisite con una certa *ampiezza temporale*.<sup>437</sup>

Un altro aspetto che deve essere posto nella giusta considerazione è quello della trasmissione dei dati sulla rete: su questo versante le criticità riguardano la larghezza di banda in relazione al peso delle informazioni trasmesse, i protocolli di trasmissione e i consumi energetici, soprattutto nel caso di sensori autoalimentati e che abbiano connettività *wireless*. Come descritto precedentemente le tecnologie per la trasmissione utilizzabili per realizzare reti di sensori WSN possono essere diverse; se l'obiettivo è quello di migliorare la loro gestione, la scelta di una tecnologia piuttosto che un'altra può

<sup>433</sup> *dataset*: insieme di dati che contengono informazioni omogenee ma che sono riferiti a soggetti diversi o fanno riferimento allo stesso soggetto ma in tempi diversi

<sup>434</sup> sulle politiche *fact-based* e *data-driven* cfr. SAS Institute, 2009, *Driven by Data: The Importance of Building a Culture of Fact-Based Decision-Making*

<sup>435</sup> AA.VV., 2010, *Data, data everywhere*

<sup>436</sup> *Borga G.*, 2010, *City Sensing*

<sup>437</sup> *ibidem*

essere effettuata in base al fatto che vi sia garanzia della copertura della distanze tra i vari nodi della rete, che i consumi energetici siano minimi e che vi sia stabilità nella comunicazione.<sup>438</sup>

Normalmente questi criteri sono in concorrenza per cui sono le necessità progettuali a definire quale dovrà essere il protocollo più adatto ad essere impiegato.<sup>439</sup> Un'ultima questione riguarda invece la raccolta e l'immagazzinamento (*storage*) delle informazioni prodotte dai sensori, aspetto che prevede il loro pre-trattamento con l'obiettivo di ottimizzare la quantità di dati da memorizzare e da trasmettere. Tuttavia, possibili interruzioni o difficoltà di connettività costringono in molti casi ad adottare combinazioni di supporti secondo *logiche di complementarità*, ad esempio salvando i dati su memoria locale con invio scadenzato ad un sistema di *storage* remoto, dove i limiti di una soluzione vengono colmati dai punti di forza dell'altra.

### 5.3. L'approccio "collaborativo" al fare ricerca

Al fine di questo lavoro pare interessante descrivere il funzionamento di un diverso metodo di fare ricerca, così come anche suggerisce l'esame di uno dei successivi casi studio (*cf.* il Progetto Sensuolo al Paragrafo 6.2), che si basa su un approccio di tipo collaborativo e partecipativo. Si fa riferimento alla cosiddetta *Citizen science* che viene definita come *la raccolta e l'analisi di dati relativi al mondo naturale da parte di un pubblico che prende parte ad un progetto di collaborazione con scienziati professionisti*.<sup>440</sup> Questo implica che vi sia una partecipazione pubblica alla ricerca scientifica che diventa così il modo per *far diventare i "non esperti" parte integrante del processo scientifico*.<sup>441</sup> Alcuni usano il termine *civic scientists* per riferirsi agli scienziati che partecipano attivamente nel dibattito pubblico su questioni scientifiche e tecnologiche e altri ancora intendono la *Citizen science* come una partecipazione dei "non esperti" nella *governance* della società su tematiche tecniche e scientifiche.<sup>442</sup> Sebbene *la scienza dei cittadini* sia considerata un fenomeno recente l'idea che qualcuno, che non è strettamente uno scienziato, possa partecipare alla ricerca non è nuova: già a inizio '900 negli Stati Uniti la *National Audubon Society* invitava i volontari a svolgere un censimento annuale degli uccelli.<sup>443</sup> Comunque gran parte degli studi sull'ambiente naturale sono spesso prodotti grazie ai dati raccolti, trascritti ed elaborati da "non esperti" e questa prassi non solo viene utilizzata in campo ambientale, ma si è allargata anche ad altri rami della scienza: infatti questo è anche lo spirito che anima il recente programma dell'Unione Europea denominato *Socientize*.<sup>444</sup>

La *Citizen science* è quindi un fenomeno di notevole interesse perchè si ritiene che contenga alcuni elementi, quali partecipazione attiva e responsabilità, in grado di rimettere in moto l'impegno dei cittadini sulle questioni importanti; infatti uno dei modi migliori per avvicinare gli individui al mondo della scienza è coinvolgerli, ad esempio facendoli partecipare alla fase di sperimentazione o a quella di

<sup>438</sup> *Borga G., 2010, op. cit.*

<sup>439</sup> *ibidem*

<sup>440</sup> Oxford English Dictionary, List of New Words

<sup>441</sup> *Cerroni A., Simonella Z., 2014, Sociologia della scienza*

<sup>442</sup> *Irwin A., 1995, Citizen Science: a study of people, expertise and sustainable development*

<sup>443</sup> *cf.* la voce *Christmas Bird Count* in SITOGRAFIA

<sup>444</sup> per una descrizione del programma *cf.* la voce *Socientize Project* in SITOGRAFIA

raccolta dati. Non si tratta di un percorso a senso unico: non è solo il cittadino ad aver bisogno della scienza ma anche la scienza ad aver bisogno di persone più "consapevoli".<sup>445</sup>

Il percorso di sviluppo di questo fenomeno attraversa gli ultimi cinquanta anni durante i quali si è passati da uno scetticismo delle persone verso i temi scientifici, ad un momento di profonda crisi di fiducia nella scienza, a infine cittadini che vogliono far parte dei processi decisionali secondo modelli che li vedono avere ruoli attivi e dove non conta solo l'*expertise* ma anche *esperienza e partecipazione* secondo uno schema di concatenazione tra le varie componenti (Figura 82).<sup>446</sup>

La *Citizen science* può quindi avere un doppio valore: da un parte ha il grande pregio di rendere partecipe il pubblico ai processi che costruiscono il processo scientifico, aiutando a far crescere la comprensione dei fenomeni oltre che entusiasmando i "non esperti" ai temi della ricerca; dall'altra può servire anche a coloro che lavorano con la scienza che, con l'aiuto dei cittadini e di alcuni dispositivi con i quali questi possono essere equipaggiati,<sup>447</sup> sono in grado di ampliare flusso informativo proveniente dall'ambiente allargando in questo modo i confini degli ambiti disciplinari, permettendo non solo una lettura più dettagliata dei fenomeni, potendone cogliere così la reale complessità.

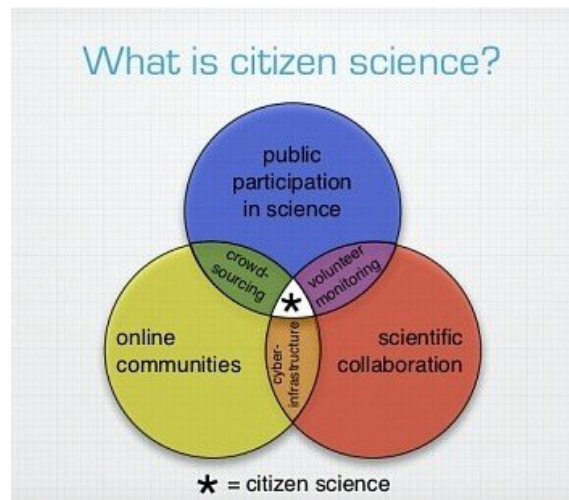


Figura 82: pilastri sui quali si basa la *Citizen Science* (fonte: Cornell Lab of Ornithology)

### 5.3.1. Esempi applicativi

Si può parlare oggi di *Citizen science* perchè durante gli ultimi decenni il coinvolgimento dei volontari e dei cittadini è stato reso possibile grazie allo sviluppo e miglioramento delle tecnologie per la gestione e condivisione dei dati. Questo è avvenuto non solo per mezzo degli strumenti per la connettività tra utenti sempre più diffusi, ma anche grazie all'aumento della potenza elaborativa dei calcolatori<sup>448</sup> e del perfezionamento delle applicazioni *software*; si deve inoltre tenere conto del contributo dato dallo sviluppo dei linguaggi informatici cosiddetti "aperti" e *open-source* e la crescita di una comunità di sviluppatori animati da logiche sempre più collaborative e inclusive.<sup>449</sup>

Un aspetto peculiare della *Citizen science* è che tramite le nuove tecnologie, soprattutto quelle legate ai *Database Management System (DBMS)*,<sup>450</sup> ovvero ai sistemi di gestione di basi di dati che traggono beneficio dalla crescente potenza di calcolo dei computer, è possibile la raccolta di informazioni a

<sup>445</sup> Cerroni A., Simonella Z., 2014, *op. cit.*

<sup>446</sup> *ibidem*

<sup>447</sup> si veda, ad esempio, il progetto *Sensuolo* descritto al Paragrafo 6.2

<sup>448</sup> *cf.* Nota 273

<sup>449</sup> *cf.* Nota 320

<sup>450</sup> DBMS: sistema di gestione delle basi di dati (banca dati) le cui principali funzioni sono quelle di permetterne l'accesso, garantendo nel contempo consistenza, sicurezza e integrità dei dati

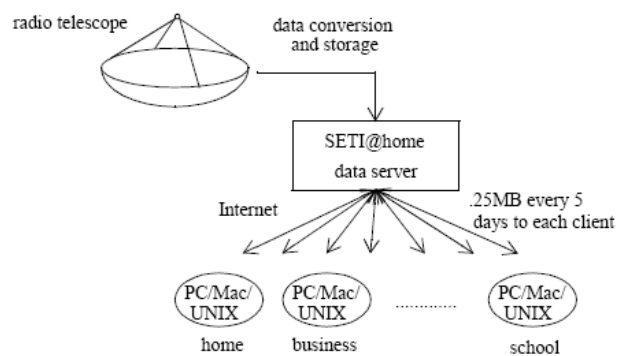
scale spaziali e temporali sempre più ampie e dettagliate, attività di difficile realizzazione prima dell'avvento di questi strumenti.

Nella descrizione di alcune esperienze di *Citizen science*, come esempio in campo ambientale si può citare quello sviluppato dal *Cornell Lab of Ornithology*<sup>451</sup> il cui obiettivo è interpretare e conservare la diversità biologica del pianeta attraverso ricerche, proposte educative e progetti che hanno come oggetto soprattutto lo studio degli uccelli. In questo caso l'interazione tra i partecipanti si basa in gran parte su operazioni di immissione dati e sul confronto e la validazione delle informazioni che sono raccolte attraverso una piattaforma Web; gli scopi sono di tipo sia scientifico che educativo perchè, se da una parte si cerca di comprendere come l'antropizzazione dell'ambiente naturale condiziona la sopravvivenza degli uccelli selvatici, dall'altra questo strumento cerca di promuovere e facilitare le relazioni tra il mondo della scienza e i cittadini.<sup>452</sup>

Un altro esempio interessante è quello degli *Open Air Laboratories*<sup>453</sup>, una rete di progetti di *Citizen science* che hanno anche in questo caso lo scopo di contribuire alla ricerca scientifica facendo crescere la conoscenza dei fenomeni naturali di chi vi partecipa. Anche qui la metodologia si basa sulla raccolta da parte di volontari di una gran quantità di dati ambientali che vengono poi validati e usati dagli scienziati nelle loro ricerche; questi ultimi si impegnano poi a promuovere un certo numero di eventi di informazione e sensibilizzazione dei cittadini attraverso giornate tematiche o eventi specifici.

Nei due casi sopra descritti le operazioni di raccolta dei dati avvengono essenzialmente attraverso piattaforme Web dedicate, nelle quali i ricercatori e i volontari inseriscono in prima persona le informazioni che vanno a costruire e arricchire un *database*.

Sempre su questa linea appare interessante descrivere le iniziative denominate *@home*, che sono invece parte di più complessi progetti di *calcolo distribuito*:<sup>454</sup> chi vi partecipa mette a disposizione la capacità di calcolo del proprio personal computer dove viene installato un piccolo *software* che nei periodi di inattività può essere chiamato a svolgere delle semplici operazioni di elaborazione. A monte, un programma su di un *server* spezzetta in tante parti un'operazione complessa e distribuisce attraverso la rete le varie parti tra i partecipanti all'iniziativa, lasciando al *software* installato sui vari PC il compito di elaborarle; una volta elaborati i dati singolarmente questi vengono ritrasmessi al *server* che ha il compito di ricomporli nell'ambito di un unico processo (**Figura 83**).



**Figura 83:** il progetto Seti@home come esempio di calcolo distribuito (fonte: Kent State University)

<sup>451</sup> cfr. la voce *Cornell Lab of Ornithology* in SITOGRAFIA

<sup>452</sup> *ibidem*

<sup>453</sup> cfr. la voce OPAL Project in SITOGRAFIA

<sup>454</sup> *calcolo distribuito*: si tratta di un campo dell'informatica che prevede che una serie di computer, attraverso la rete, interagiscano autonomamente tra loro al fine di raggiungere un obiettivo comune, generalmente dividendosi dei compiti di calcolo che altrimenti sarebbero troppo gravosi da eseguire su di un singolo elaboratore





**Figura 84:** nel sistema *reCaptcha* gli utenti contribuiscono alla validazione del dato (fonte: Carnegie Mellon University)

La differenza rispetto a quanto visto finora è che queste operazioni vengono eseguite in *background* e in maniera *trasparente* rispetto all'utente.<sup>455</sup>

Esempi di questi progetti sono le iniziative *Seti@home*, *MilkyWay@home*, *Einstein@home* in campo dell'astrofisica o *LHC@Home* nel campo della fisica.<sup>456</sup>

Altro e ultimo esempio di applicazione della filosofia della *Citizen science* è il caso nel quale sono gli utenti/volontari che vengono coinvolti nel processo di validazione del dato, soprattutto quando vengono chiamate in campo capacità che le macchine ancora non hanno perfettamente acquisito quali la tecnica della *pattern recognition*<sup>457</sup> o la capacità di discernere anomalie o differenze da uno schema. In questa categoria ricadono iniziative come *Galaxy Zoo* o *Planet Hunters* nel campo dell'astrofisica.<sup>458</sup> Un progetto con minori finalità scientifiche ma ben conosciuto e che esemplifica questa strategia di partecipazione, è quello che utilizza la tecnica denominata *reCaptcha* che prevede, per accedere a dei contenuti, che l'utente provveda al riconoscimento di alcuni testi o caratteri particolari contenuti in libri o giornali che un processo di scannerizzazione automatico normalmente non è riuscito a riconoscere del tutto (**Figura 84**).<sup>459</sup>

### 5.3.2. Le criticità dell'approccio Citizen Science

È evidente che alla base del funzionamento di questo metodo vi devono essere forti aspetti motivazionali capaci di animare sia gli scienziati che i volontari; relativamente a questi ultimi, anche se il loro reclutamento è un aspetto importante, più essenziale ancora è riuscire a mantenere "partecipativo" per il tempo più lungo possibile chi collabora su questi progetti, perchè è proprio la questione temporale del *lungo termine* che permette spesso il raggiungimento degli obiettivi scientifici.<sup>460</sup>

Inoltre le maggiori criticità che vengono riconosciute a questo metodo sembrano riguardare le questioni della qualità dei dati, sia riguardo l'accuratezza delle informazioni raccolte che al modo in cui i risultati vengono poi accolti dalla comunità scientifica. Se questa questione è facilmente superabile attraverso tecniche di validazione sempre più accurate, in realtà sembra che il problema più difficile da superare sia proprio quello banalmente di "immagine", proprio perchè il processo non si svolge interamente all'interno della comunità scientifica ma si basa in gran parte sul lavoro di volontari spesso privi di titoli accademici.<sup>461</sup> Un'altra problematica è anche quella relativa alla proprietà delle

<sup>455</sup> *applicazione in background*: esecuzione di alcuni programmi che non richiedono la presenza o l'intervento dell'utente che può essere, volontariamente o involontariamente, del tutto ignaro del loro funzionamento

<sup>456</sup> *cfr.* le voci *Seti@home*, *Milkyway@home* e *Einstein@home* in SITOGRAFIA

<sup>457</sup> *pattern recognition*: tecnica che prevede l'analisi di dati grezzi al fine di permettere l'identificazione al loro interno di uno schema (*pattern*) al fine di operazioni di apprendimento automatico

<sup>458</sup> *cfr.* le voci *Galaxy Zoo* e *Planet Hunters* in SITOGRAFIA

<sup>459</sup> *cfr.* la voce Carnegie Mellon University in SITOGRAFIA

<sup>460</sup> *Riesch H., Potter C., 2014, Citizen science as seen by scientists: methodological, epistemological and ethical dimensions*

<sup>461</sup> *ibidem*

informazioni che apre poi la porta a questioni di titolarità e diritto sui dati prodotti che riguardano sia gli scienziati che riorganizzano e validano le informazioni che i volontari che le raccolgono sul campo. La *Citizen science* quindi, come un approccio diverso al *fare scienza* che presenta notevoli potenzialità ma che nel contempo lascia aperte alcune criticità proprio per l'ambizione di voler far convivere rigosità scientifica e volenterosa partecipazione di chi non è "addetto ai lavori". Le potenzialità sono evidenti: la raccolta di informazioni su larga scala, che altrimenti sarebbe impossibile o troppo costosa per essere realizzata da piccoli gruppi di ricerca, viene invece svolta da gruppi più ampi che, anche se non possiedono un vero e proprio *background* scientifico, vengono comunque coinvolti e dotati degli strumenti necessari.<sup>462</sup>

Tuttavia, a differenza delle altre metodologie di gestione delle informazioni che sono state descritte precedentemente e che investono, ad esempio, la questione dei *Big data*, la *Citizen science* si configura come una possibile alternativa con obiettivi che rientrano in una sfera *più etica*, prevedendo la promozione di una dimensione educativa nella quale si pone attenzione alla sensibilizzazione e alla creazione di un senso di comunità capaci poi essere capaci di influenzare *le politiche* di chi decide in nome dei cittadini.<sup>463</sup>

In ogni caso, al fine di questo lavoro, si tratta di una delle varie possibili soluzioni per la raccolta e la gestione del grande flusso informativo generato dalle reti sensoriali che sono alla base dei casi studio che verranno descritti di seguito, oltre che poter essere utilizzata nelle proposte progettuali che verranno descritte nel Capitolo 7.

---

<sup>462</sup> Cerroni A., Simonella Z., 2014, *op. cit.*

<sup>463</sup> *ibidem*

## 6. CASI STUDIO

### 6.1. Il dispositivo Fertimetro

Come evidenziato nel Capitolo 3, alla luce della lavorabilità e produttività, è fondamentale comprendere la reale natura di un suolo, cioè se al suo interno sono presenti non solo i composti chimici necessari alla crescita delle piante ma se l'attività microbica è in grado di svolgere il lavoro di trasformazione di queste sostanze.

Presso il Dipartimento DAFNAE dell'Università agli Studi di Padova è stato recentemente sviluppato un dispositivo innovativo denominato *Fertimetro*.<sup>464</sup> Questo strumento basa la propria metodologia sull'osservazione che la capacità di supportare la produzione di una data coltura non è data solo dalla disponibilità dei nutrienti nel suolo, ad esempio quelli che contengono azoto, fosforo e potassio, ma anche dall'azione dei microrganismi che possono aiutare le piante ad assimilare questi elementi attraverso processi di mineralizzazione.<sup>465</sup> Come anticipato sempre nel Capitolo 3, la diversità di questi organismi viventi è molto grande e sono loro i responsabili dei processi di mineralizzazione della materia organica che ha come risultato la produzione di nutrienti dei quali poi le stesse piante sono le beneficiarie.<sup>466</sup>

La fertilità dei suoli dipende strettamente dalla velocità attraverso la quale i microbi presenti al loro interno sono in grado di trattare i residui potendo liberare i nutrimenti che verranno poi assorbiti dalle radici delle piante. Il suolo quindi può essere visto come una specie di ristorante per le piante,<sup>467</sup> dove la sostanza organica è il vassoio che include i nutrienti necessari (azoto, fosforo, potassio, ferro, ecc.) che per essere acquisiti devono essere liberati dalla matrice di carbonio organico tramite un processo di mineralizzazione microbica; i microbi quindi possono essere paragonati agli *chef* che servono alle piante i loro piatti preferiti e in un ecosistema sostenibile questo passaggio assicura una stabilità ciclica all'ambiente.<sup>468</sup> Dove questo processo non è interrotto, come in molti ecosistemi naturali, il ciclo funzionerà regolarmente; se invece questo viene aperto forzatamente, come in agricoltura, i microbi non saranno in grado di svolgere correttamente la loro azione e le piante dovranno essere alimentate tramite un servizio di *catering esterno*,<sup>469</sup> cioè mediante l'apporto di fertilizzanti da parte dell'uomo.

---

<sup>464</sup> *cf.* la voce Fertimetro in SITOGRAFIA

<sup>465</sup> Concheri G. et al., 2017, The nutrient-primed incremented substrate degradation principle. A novel method and an automated tool to assess and correct agricultural soil deficiencies to optimize its fertility and crop productivity

<sup>466</sup> André, H. et al., 2001, Skilled eyes are needed to study soil's richness

<sup>467</sup> Concheri G. et al., 2017, *op. cit.*

<sup>468</sup> *ibidem*

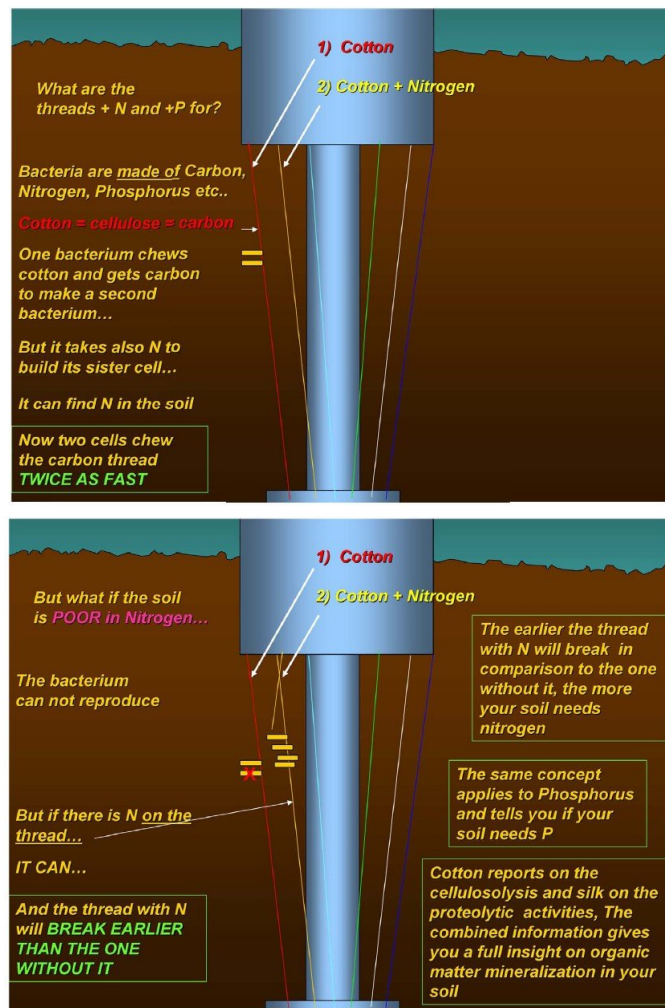
<sup>469</sup> *ibidem*

### 6.1.1. Metodologia

Le basi di questo dispositivo si ispirano ad una classica pratica agronomica di tipo empirico rappresentata dalla striscia di cotone usata per valutare il ricambio di carbonio nei suoli inquinati, attraverso l'interramento di pezzi di questo tessuto e la verifica del suo indebolimento dopo una prolungata permanenza nel suolo.<sup>470</sup> Il metodo si basa sulla comparazione tra una striscia semplice e la stessa trattata con i necessari nutrienti, ad esempio con elementi nutritivi chiave richiesti dalle biomasse microbiche e vegetali.<sup>471</sup>

La verifica delle carenze di nutrienti avviene confrontando la degradazione subita dai fili pre-trattati con nutrienti con lo strato dei filamenti non trattati. Nel *Fertimetro* però, invece di usare le ampie strisce di cotone previste originariamente che richiedono 30-45 giorni di interrimento e un ingombrante macchinario per le prove di trazione per testare il tessuto, vengono invece impiegati dei fili sottili nei quali l'indebolimento della resistenza avviene in pochi giorni e la loro rottura si verifica applicando una forza di soli 1-2 kg.

La prima versione di questo dispositivo prevedeva un semplice insieme di fili di cotone e seta inseriti verticalmente nel suolo per 7 giorni; una volta recuperato il *Fertimetro*, la resistenza alla rottura di ogni filo veniva misurata agganciandolo ad una bilancia portatile con registrazione di picco. Per verificare l'affidabilità di questo metodo sono state eseguite molte verifiche da parte di un gruppo di ricerca dell'Università di Padova; questi test hanno incluso prove su terreni con differenti tessiture, diverse condizioni di umidità, presenza di diversi fertilizzanti di origine animale o vegetale, ecc. I risultati hanno permesso la costruzione di un *database* con valori statistici significativi registrando una elevata correlazione tra i coefficienti di degradazione dei fili di seta e di cotone con le diverse caratteristiche dei terreni.<sup>472</sup>



**Figura 85:** principio di funzionamento dei filamenti pre-trattati del *Fertimetro* (fonte: Concheri G. et al., 2017, op. cit.)

<sup>470</sup> Corrella R. et al., 1997, Statistical analysis of reduction in tensile strength of cotton strips as a measure of soil microbial activity

<sup>471</sup> *ibidem*

<sup>472</sup> Stevanato P. et al., 2014, Soil biological and biochemical traits linked to nutritional status in grapevine

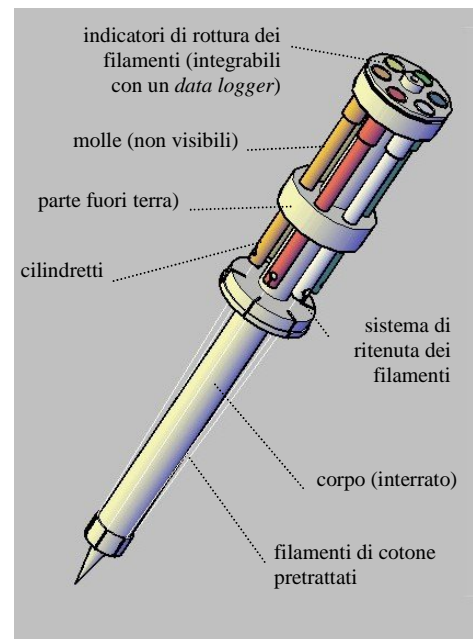
Un secondo livello di verifiche è stato svolto attraverso prove in campo in una stazione agricola sperimentale i cui suoli ricevono da decenni una serie di fertilizzanti di diverso tipo. Anche in questo caso il comportamento dei filamenti si è dimostrato coerente con il livello di fertilità mostrando una stretta correlazione con la resa delle colture e consentendo di prevedere la produttività con almeno quattro mesi di anticipo.<sup>473</sup> In **Figura 85** si descrivono quali sono i fattori che determinano la rottura dei filamenti.

### 6.1.2. Descrizione

Il *Fertimetro* ha una struttura di forma cilindrica dove dei filamenti, interrati nel suolo, sono mantenuti in tensione costante tramite molle calibrate (**Figura 86**); in pratica, attraverso questi filamenti realizzati in cotone o in seta, viene verificato il cambiamento della resistenza a trazione dopo che questi sono rimasti nel suolo per un certo periodo. I filamenti sono fissati anche a dei cilindretti, che servono da indicatori di rottura: maggiore (e più veloce) è l'attività dei microrganismi, prima i fili si romperanno facendo scattare il corrispondente cilindretto permettendo così di visualizzare l'informazione sullo stato della potenziale attività microbica presente nel suolo.<sup>474</sup> La variabile che viene misurata è il tempo che intercorre tra il posizionamento del *Fertimetro* fino alla rottura dei fili, periodo che viene registrato tramite la semplice verifica visiva o, in una versione più evoluta del dispositivo, attraverso un apposito *data logger* che viene posto sulla sommità del dispositivo (**Figura 87**).

Si tratta di una informazione importante sulla vitalità del suolo: se questa è carente, ovvero vi è necessita di fertilizzazione, i fili pre-trattati si romperanno prima poiché i microrganismi che necessitano delle stesse sostanze delle piante troveranno proprio sui filamenti i nutrienti che non sono presenti nel terreno. Il tempo di rottura dei fili trattati, ad esempio ad azoto o fosforo, messo a confronto con il tempo di rottura dei fili non trattati è proporzionale alla carenza di tali nutrienti e fornisce quindi una informazione utile a pianificare quale deve essere il giusto livello di fertilizzazione.<sup>475</sup>

Il dispositivo viene lasciato nel suolo a registrare il tempo necessario a fare scattare un indicatore di rottura; lo strumento, nella versione equipaggiata di *data logger* è in grado di operare automaticamente e richiede solo la registrazione dei tempi necessari alla rottura dei filamenti. Il monitoraggio e la conseguente indicazione sulla necessaria correzione della fertilità dei suoli viene attuato rilevando



**Figura 86:** il *Fertimetro* e i suoi componenti principali (fonte: Progetto *Fertimetro*, Università di Padova / elaborazione Autore)

<sup>473</sup> Concheri G. et al., 2017, op. cit.

<sup>474</sup> *ibidem*

<sup>475</sup> *ibidem*

periodicamente lo stato degli indicatori alla sommità di ciascun *Fertimetro*, o nel caso di una versione dotata di connettività *wireless*, ricevendone i dati in remoto.

### 6.1.3. Potenzialità

Il suolo, come visto precedentemente,<sup>476</sup> è l'*interfaccia* sulla quale si svolge la produzione agricola e uno dei compiti più importanti in questo settore è quello di conoscere la fertilità dei terreni valutando la necessità di fornire a questi la corretta quantità di prodotti fertilizzanti. L'impiego bilanciato di nutrienti è di primaria importanza per assicurare il massimo raccolto ma, contemporaneamente, vi è la necessità di salvaguardare l'ecosistema e uno strumento che permetta una corretta diagnosi del fabbisogno di azoto e fosforo nel suolo permette di risolvere questa problematica.<sup>477</sup> Inoltre sono molti gli ambiti di applicazione che richiedono risposte rapide sullo stato di attività biologica dei terreni e, come visto nelle conclusioni del Capitolo 3, l'analisi laboratoriale di tipo tradizionale presenta diversi limiti operativi che aprono le porte a strumenti di tipo diverso da quelli finora utilizzati.

L'abilità di risparmiare nella pratica della fertilizzazione, evitando apporti inutili, porta non solo vantaggi economici agli agricoltori ma anche risvolti positivi per l'ambiente e il territorio, dando una risposta alla problematica dell'eccessivo sversamento di prodotti azotati nelle acque causati dalle pratiche agricole, questione che ha portato in questi ultimi anni ad un rafforzamento legislativo in diversi paesi.<sup>478</sup> Sono molti i contesti che richiedono risposte circa lo stato delle attività biologiche presenti nel terreno; oltre che per le coltivazioni questa conoscenza sarebbe auspicabile anche per i suoli a riposo al fine di determinare gli intervalli ottimali per la ripresa delle attività agricole o per pianificare le modalità di compostaggio dei residui organici.

Il *Fertimetro* permette di misurare la fertilità letteralmente *sul campo*, velocemente e senza la necessità di costose analisi chimiche e microbiologiche; con le tradizionali analisi di laboratorio descritte precedentemente, gli indicatori vengono rilevati solo in maniera separata e i dati necessitano inoltre di essere interpretati da un agronomo competente il quale può comunque solo formulare un'ipotesi sulla fertilità. Bisogna ricordare poi che l'analisi del suolo, se fornisce un'indicazione sulla sua potenzialità, non ci dice comunque se poi questa potrà poi concretizzarsi.<sup>479</sup> Al contrario, il *Fertimetro* conduce in pochi giorni un vero test *in vivo*, nel quale tutte le variabili vengono analizzate congiuntamente ottenendo alla fine un singolo parametro



**Figura 87:** prototipo di *Fertimetro* dotata di elettronica di controllo capace di memorizzare i dati e in grado di utilizzare ulteriori sensori di temperatura e umidità (fonte: Concheri G. et al., 2017, op. cit.)

<sup>476</sup> cfr. Paragrafo 3.2.1 sulle funzioni e componenti del suolo

<sup>477</sup> Concheri G. et al., 2017, op. cit.

<sup>478</sup> cfr. Nota 41 sulla Direttiva Nitrati

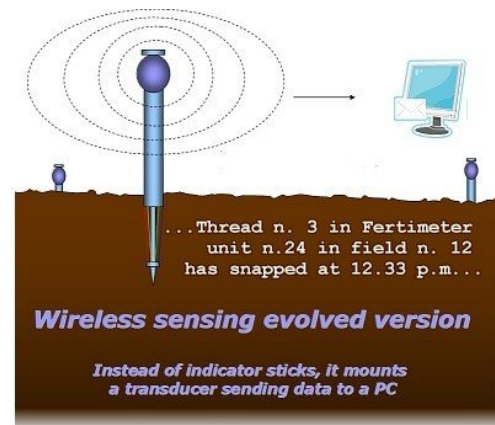
<sup>479</sup> Concheri G. et al., 2017, op. cit.

valutativo, cioè la fertilità, permettendo di mettere quindi in relazione l'attività microbica con la produttività delle piante.<sup>480</sup> Si tratta inoltre di una tecnica che, tramite l'impiego di apposite soluzioni, è facilmente adattabile anche per rilevare le carenze di altri elementi.

Il *Fertimetro* quindi è in grado di fornire all'agricoltore le indicazioni della attività del terreno sul quale deve operare, permettendogli di verificare lo stato di salute di quest'ultimo; i valori ottenuti inoltre, possono essere confrontati con le registrazioni di un *database* che lo stesso agricoltore può aver prodotto nel tempo, o messi in relazione con i valori di riferimento rilevati per i suoli "normali" in condizioni climatiche equivalenti.

In ultima analisi, questo dispositivo è in grado di fornire informazioni rilevanti al fine di adottare le migliori decisioni di gestione agronomica; l'implementazione in esso di tecnologie trasmissive di tipo *wireless* e la capacità di operare anche in maniera automatica all'interno di estese reti WSN non possono che migliorare ed estendere queste capacità (**Figura 88**).

Ad esempio, si può ipotizzare che una fitta rete di *Fertimetri* disseminata sul territorio, tramite l'acquisizione dei dati raccolti dagli utenti, potrebbe aiutare a costruire dettagliate banche dati dei suoli in modo da generare in maniera automatica indicazioni di fertilizzazione personalizzate; si potrebbe così costruire dettagliate mappe del potenziale produttivo dei suoli non solo a livello locale ma anche regionale, un'informazione di grande utilità per le agenzie di protezione ambientale o per gli enti chiamati a governare il territorio. In conclusione, il *Fertimetro* si configura come uno strumento utile per agricoltori e agronomi, permettendo una conoscenza più precisa dei fenomeni, ma anche una soluzione per una migliore gestione delle risorse naturali nella logica di una maggiore sostenibilità.



**Figura 88:** il *Fertimetro* in una logica di trasmissione dei dati e di funzionamento in rete (fonte: Progetto *Fertimetro*, Università di Padova)

## 6.2. Il Progetto Sensuolo

Sempre presso l'Università agli Studi di Padova è in fase di sviluppo un altro progetto denominato *Sensuolo* che, rispetto al *Fertimetro*, si colloca comunque ancora in una fase iniziale ma che pare interessante valutare per una serie di questioni, tra le quali il fatto che ha come obiettivo quello della sperimentazione, integrazione e implementazione di alcune soluzioni innovative.

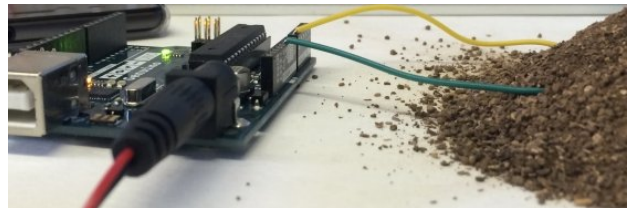
Analogamente al primo caso studio, l'idea di base di questo progetto è che lo sviluppo di una piattaforma dotata di sensori in grado di svolgere delle analisi dei parametri qualitativi dei suoli per determinarne il livello di biodiversità e fertilità oggi è un'operazione facilmente perseguibile oltre che rendersi necessaria.<sup>481</sup> La risorsa "suolo", come descritto precedentemente, riveste infatti un ruolo

<sup>480</sup> Concheri G. et al., 2017, op. cit.

<sup>481</sup> cfr. la voce *Sensuolo Project* in SITOGRAFIA

fondamentale vista la sua "centralità" nelle molteplici attività umane legate al suo sfruttamento: si tratta di un fattore soggetto spesso a fortissime pressioni ma purtroppo "non rinnovabile" la cui disponibilità subisce costantemente il rischio di essere compromessa.

Pertanto la consapevolezza della fragilità di questa risorsa, parallelamente alle questioni di sostenibilità ambientale, rende necessario lo sviluppo di strumenti di analisi e di misurazione in grado di valutare con sempre maggiore precisione lo stato di salute dei terreni; questo è possibile attraverso sistemi da laboratorio generalmente molto costosi e certamente non di tipo portatile ma che oggi, grazie alla miniaturizzazione della sensoristica e all'evoluzione delle tecnologie, possono essere più compatti e trasportabili, capaci di lavorare in maniera interconnessa, garantendo nello stesso tempo precisione, economia e praticità nella raccolta delle informazioni.<sup>482</sup>



**Figura 89:** spirito del progetto *Sensuolo*  
(fonte: Progetto *Sensuolo*, Università di Padova)

Partendo da queste riflessioni il progetto *Sensuolo* cerca comunque di muoversi oltre, valorizzando gli aspetti *collaborativi* descritti nel Paragrafo 5.3

e che riguardano la questione della *Citizen science* raccogliendo, da una parte, una gran quantità di dati che dovranno poi essere validati dalla comunità scientifica, dall'altra cercando di rendere i cittadini partecipi dei processi che costruiscono un sapere scientifico.

La sperimentazione legata al progetto *Sensuolo* ha come traguardo lo sviluppo di una piattaforma che permetta:<sup>483</sup>

- il monitoraggio continuo nel campo dell'agricoltura sostenibile e di precisione;
- la certificazione di sistemi di qualità in ambito agroalimentare allo scopo di verificare la validità degli indicatori presi in esame valorizzando la loro attendibilità;
- la redazione di mappe "di vocazione" dei suoli;
- un monitoraggio di tipo diffuso dell'ambiente, in modo da valutare gli effetti delle azioni umane in relazione ai cambiamenti climatici

### 6.2.1. Descrizione

Il dispositivo *Sensuolo* si basa su una piattaforma *open-source*<sup>484</sup> che ha come cuore un'elettronica di controllo denominata *Arduino*<sup>485</sup> che ha già avuto numerose applicazioni nel campo dell'analisi e dell'acquisizione dei dati relativi alla qualità dei suoli;<sup>486</sup> il vantaggio di utilizzare questo strumento è quello della sua grande diffusione e la caratteristica e di potere essere collegato ad una moltitudine di sensori.

<sup>482</sup> si veda il Paragrafo 4.5.1 sullo sviluppo dei dispositivi LOC

<sup>483</sup> *Sensuolo Project, op. cit.*

<sup>484</sup> *cfr. Nota 319*

<sup>485</sup> *Arduino* è una piattaforma hardware *open-source* che permette di realizzare in maniera rapida e relativamente semplice piccoli dispositivi che utilizzano sensori o attuatori

<sup>486</sup> *Sindhuja R., Krithiga B., 2017, Soil nutrient identification using Arduino*

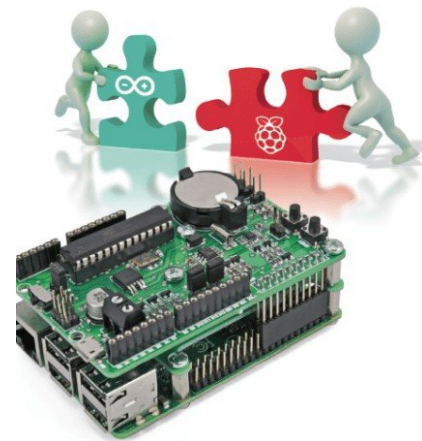


L'unione di *Arduino* con un altro dispositivo denominato *Raspberry Pi*<sup>487</sup> attraverso una ulteriore soluzione denominata *Randa*,<sup>488</sup> permette di svolgere operazioni più complesse come, ad esempio, il confronto e l'elaborazione già a livello locale delle informazioni raccolte dai sensori (**Figura 90**).

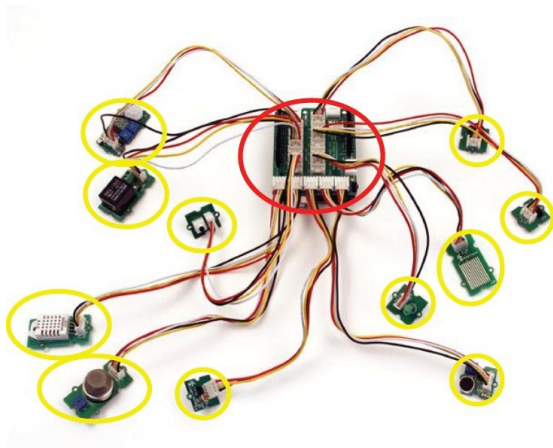
La peculiarità di questo progetto è proprio la potenzialità di espansione di *Arduino*, unita all'efficacia del sistema operativo di *Raspberry Pi*<sup>489</sup> e al fatto che si tratta di ambienti di sviluppo *open-source* che permettono una grande possibilità di applicazioni; esistono commercialmente altre soluzioni che presentano, sul piano della gestione energetica o dal punto di vista della miniaturizzazione, capacità analoghe o superiori ma si è comunque ritenuto più importante basarsi su di un ambiente di sviluppo semplice e diffuso, che oltre ad offrire diverse possibilità di espansione, non richiede il pagamento di licenze permettendo l'interazione e la collaborazione di una ricca comunità di sviluppatori.<sup>490</sup>

Come si scriveva sopra si tratta di un progetto in sviluppo e che prevede una prima fase di sperimentazione delle funzionalità e capacità *hardware*; una fase successiva vedrà la selezione delle soluzioni *software* più adeguate e la portabilità del sistema che dovrà comunque garantire affidabilità, efficacia e semplicità di utilizzo. Riguardo alla sensoristica che potrà essere impiegata, questa dovrà prevedere una serie di capacità tra le quali la misura del livello di umidità, temperatura, salinità, conduttività elettrica o la presenza di carbonati, azoto, fosforo e potassio attingendo alla vastissima disponibilità di sensori *plug-and-play*<sup>491</sup> che caratterizza la piattaforma *Arduino* (**Figura 91**).

Si è previsto inoltre di testare una certa quantità di sensori già utilizzati per analisi e indagini ambientali (ad esempio un *penetrometro*,<sup>492</sup> elettrodi per i nitrati, ecc.), alcuni di questi mai sperimentati per analisi del suolo; in questo progetto è stata posta una certa attenzione alla determinazione della significatività e attendibilità dei dati prodotti, anche in relazione a quanto



**Figura 90:** l'unione di due ben conosciuti dispositivi *open-source* sta alla base del progetto *Sensuolo* (fonte: Open Electronics)



**Figura 91:** la scelta dei sensori utilizzabili per la piattaforma *Sensuolo* può contare sulla vasta offerta disponibile per il mondo *Arduino* (fonte: Progetto *Sensuolo*, Università di Padova)

<sup>487</sup> *Raspberry Pi* è un micro-calcolatore costruito su una sola scheda elettronica molto compatta con l'idea di realizzare, analogamente a quanto fatto per *Arduino*, un dispositivo economico ma che permette di stimolare l'insegnamento della programmazione

<sup>488</sup> Denaro D., 2017, *Randa*. *Raspberry Pi + Arduino*

<sup>489</sup> che si basa su una ben nota distribuzione di Linux denominata *Debian*

<sup>490</sup> come esempio della diffusione di questo strumento si fa riferimento a Canesi A., Grosso D., 2015, *Esperienze di spettrofotometria per la scuola con Arduino*

<sup>491</sup> con il termine *plug-and-play* ci si riferisce alla facilità con la quale un determinato *hardware* viene messo in funzione all'interno di un sistema senza che l'utente debba mettere in atto specifiche procedure di installazione o configurazione

<sup>492</sup> strumento per la misura della resistenza alla penetrazione degli strati superficiali di terreno

ottenuto su campioni analoghi in prove di laboratorio di tipo tradizionale. L'obiettivo finale è quello di costruire un *box* "autosufficiente" a basso costo che possa essere distribuito a persone volontarie,<sup>493</sup> questi non dovranno far altro che collocare il dispositivo sul terreno che si vuole esaminare e sarà il *box*, in maniera del tutto autonoma, a gestire e trasmettere i risultati ad una banca dati attraverso la connettività *wireless*. I campi che potrebbero trarre vantaggio da questo dispositivo sono molteplici, non solo il mondo agronomico ma, ad esempio, anche quello dell'edilizia quando si ha la necessità di una precisa conoscenza della natura del terreno, si è chiamati a mitigare il consumo di suolo che deriva dalle attività urbane o si devono recuperare siti dismessi realizzando aree verdi.<sup>494</sup>

Oltre alle questioni sull'utilizzo dello strumento pare interessante evidenziare anche il modo in cui questo dispositivo potrà acquisire le informazioni: come si è detto questo può avvenire anche grazie ad una collaborazione di tipo "attivo" da parte dei cittadini che possono essere coinvolti secondo modalità *partecipative* caratteristiche della *Citizen science*. Non va infine dimenticato che, anche in questo caso, si tratta di un dispositivo compatto e portatile, in grado di semplificare e superare molti dei limiti delle analisi laboratoriali descritti precedentemente.

### 6.3. Conclusioni

Analogamente a quanto scritto per il *Fertimetro*, con il sistema *Sensuolo* si ha a disposizione uno strumento che permette la creazione di un *database* che può poi essere utilizzato per la costruzione di dettagliate mappe dello stato dei suoli e del loro potenziale in termini di fertilità e biodiversità. Questo tipo di informazione, una volta raccolta, aggregata e condivisa, può essere di grande utilità per chi deve gestire risorse naturali o è chiamato a promuovere le relative politiche territoriali a scala locale e regionale.

Entrambi i dispositivi vengono utilizzati per la misurazione *sul campo* di alcuni fenomeni naturali, permettendo di superare molti dei limiti delle spesso lunghe e complesse analisi laboratoriali; tuttavia, mentre il *Fertimetro* ha la necessità di essere installato e calibrato da chi possiede adeguate competenze, il *kit* pensato per il progetto *Sensuolo* rappresenta uno strumento che, grazie ad un approccio di tipo *partecipativo e collaborativo*, supera la questione della scienza fatta solo dai cosiddetti *addetti ai lavori* permettendo a chiunque di contribuire al processo di costruzione di una sapere scientifico.

Come si vedrà, una delle ragioni per la quale si sono esaminati questi casi studio è che rappresentano una "base" sulla quale alcune delle idee innovative presenti in questo lavoro possono essere sviluppate, permettendo l'implementazione delle tecnologie sensoristiche e trasmissive esaminate nei precedenti capitoli in una logica di estensione delle capacità e delle funzionalità operative.

---

<sup>493</sup> *Sensuolo Project* in SITOGRAFIA, *op. cit.*

<sup>494</sup> *ibidem*

## 7. PROPOSTE PROGETTUALI

### 7.1. Potenzialità di un uso integrato e combinato di alcune tecnologie "intelligenti"

Nei capitoli precedenti si sono esaminate diverse tecnologie come, ad esempio, le reti sensoristiche *wireless* o gli strumenti per il tracciamento e il monitoraggio di alcuni fenomeni naturali; si è visto che, se usati in maniera *combinata*, questi dispositivi possono aiutare a costruire soluzioni *intelligenti* per risolvere i problemi del territorio e dell'ambiente. Una certa attenzione inoltre è stata posta nella comprensione di come queste soluzioni potrebbero essere utilizzate nei contesti agricoli e allevativi, soprattutto nel determinare lo stato di salute delle piante e degli animali; proprio per questo, oltre ad evidenziare i loro limiti, si è cercato di capire quali sono le potenzialità di queste tecnologie alla luce del fatto che sono oggetto di una sempre maggiore miniaturizzazione e trasportabilità. Successivamente si sono descritti alcuni strumenti come i progetti *Fertimetro* e *Sensuolo* che hanno come obiettivo la determinazione delle caratteristiche dei suoli valutando se questi sistemi possono essere migliorati o utilizzati in maniera ottimale in contesti geograficamente estesi; nel capitolo che segue vengono sviluppate alcune proposte che cercheranno di muoversi proprio su questa strada.

Facendo inizialmente riferimento al progetto *Fertimetro*, l'idea di partenza è che i singoli dispositivi possono essere dotati di un apparato trasmissivo tra quelli esaminati nel Paragrafo 4.3.1 utilizzando, ad esempio, il protocollo *ZigBee* o il *Bluetooth Low Energy*; l'informazione ricavata viene poi trasmessa ad una stazione base e rinviata a sua volta, attraverso una rete mobile, ad un server che ha il compito di raccogliere tutti i dati come rappresentato schematicamente in **Figura 35**. Tuttavia, come evidenziato, un utilizzo di questo tipo può presentare alcuni limiti operativi dovuti a problematiche di tipo trasmissivo delle onde radio che sono suscettibili delle interferenze provocate dalle condizioni meteorologiche o dalla copertura fogliare delle piante; non può inoltre essere trascurata la difficile applicabilità di questa soluzione a contesti rurali o remoti dove le reti cellulari spesso soffrono della mancanza di una adeguata copertura o sono del tutto assenti.<sup>495</sup>

Per ovviare a queste problematiche la proposta innovativa è quella di utilizzare i sistemi trasmissivi *wireless* propri delle reti WSN in combinazione con la tecnologie dei droni che hanno subito in questi ultimi anni un notevole sviluppo sia in termini di affidabilità che di capacità.<sup>496</sup> Gli UAV verrebbero utilizzati ogni qualvolta se ne presenti la necessità, cioè al verificarsi di un evento significativo, non sostituendo le reti *wireless* ma integrandone invece le capacità e il loro impiego si giustificerebbe alla luce del fatto che, nel caso ad esempio del *Fertimetro*, questo dispositivo produce un tipo di informazione che non ha la necessità di essere raccolta *in continuo* ma potrebbe beneficiare di un sistema di raccolta dei dati che lavora con una certa *ampiezza temporale*.<sup>497</sup>

<sup>495</sup> cfr. il Paragrafo 4.3.4 sulle problematiche trasmissive delle reti

<sup>496</sup> cfr. il Paragrafo 4.7.4 sullo sviluppo del mercato dei droni per l'agricoltura

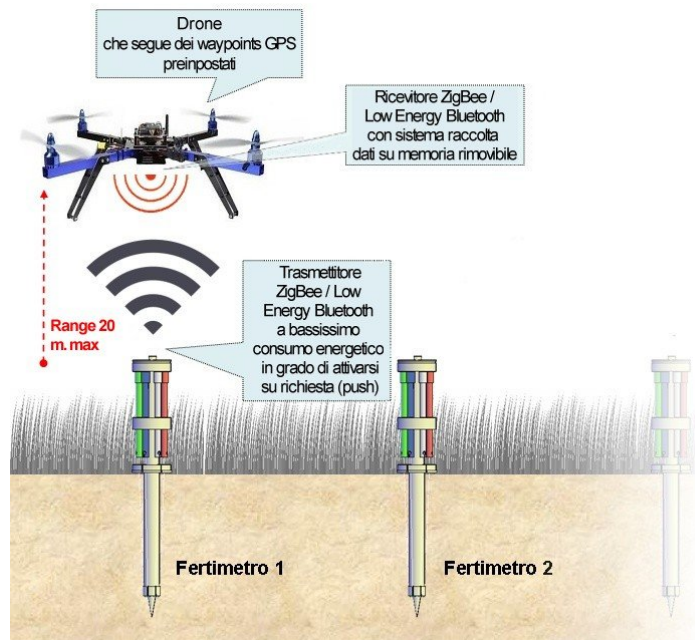
<sup>497</sup> si veda a proposito anche quanto scritto nel Paragrafo 5.2.1

## 7.2. Il progetto SKYCROP

### 7.2.1. Profilo "raccolta dati" (missione tipo a)

Nella logica di un uso *integrato e combinato* delle nuove tecnologie, si è costruito un progetto che è stato denominato "SKYCROP" e che prevede diverse modalità operative che corrispondono a due possibili "profili missione" che possono essere svolti da un veicolo senza pilota. A questo fine si è scelto uno UAV in luogo di un veicolo terrestre per la ragione che si è voluto prendere in considerazione la modalità più complicata, cioè quella di una piattaforma aerea, anche se in realtà la stessa missione può essere svolta da un *rover* anziché da un drone.

Il profilo missione più semplice definito come di *tipo a*), ha l'obiettivo di "raccolgere dati" e, come anticipato, si pone come alternativa alla realizzazione per il *Fertimetro* di una specifica rete WSN cercando di superarne i limiti operativi. Il livello di complessità delle operazioni che il velivolo deve svolgere non è elevato: lo UAV, o un'altra piattaforma mobile, si dirige verso la posizione del primo *Fertimetro* seguendo semplicemente i *waypoints* GPS che sono stati rilevati quando questi sono stati posizionati sul terreno (**Figura 92**).<sup>498</sup> Giunto in prossimità del dispositivo dotato di un sistema trasmissivo a bassa potenza e a breve portata tipo *ZigBee*, il drone identifica il segnale emesso dal *Fertimetro* e si arresta in posizione zenitale rispetto ad esso; a questo punto il trasmettitore montato sul velivolo interroga l'omologo ricevitore installato sul *Fertimetro* a terra secondo modalità trasmissive definibili come *push-pull*,<sup>499</sup> inviando le informazioni relative alla fertilità del terreno che vengono raccolte a bordo su di un supporto di memoria.

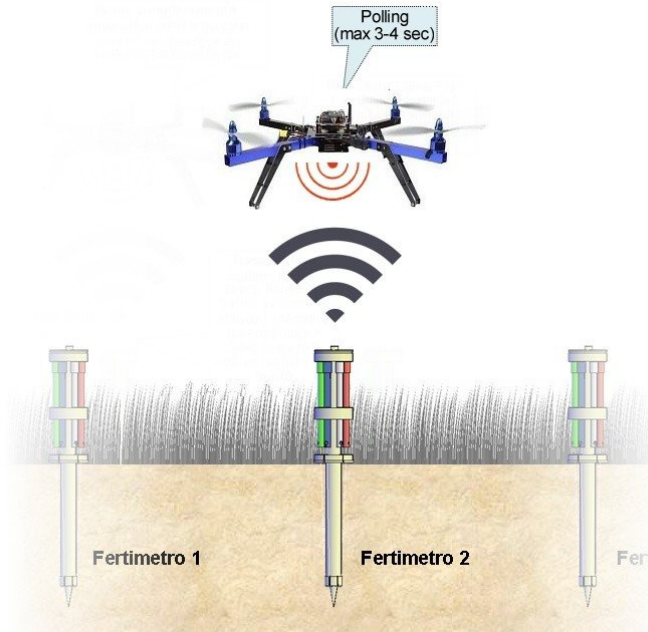


**Figura 92:** interrogazione e ricezione dei dati provenienti da un *Fertimetro* nella missione *tipo a*) (fonte: Autore)

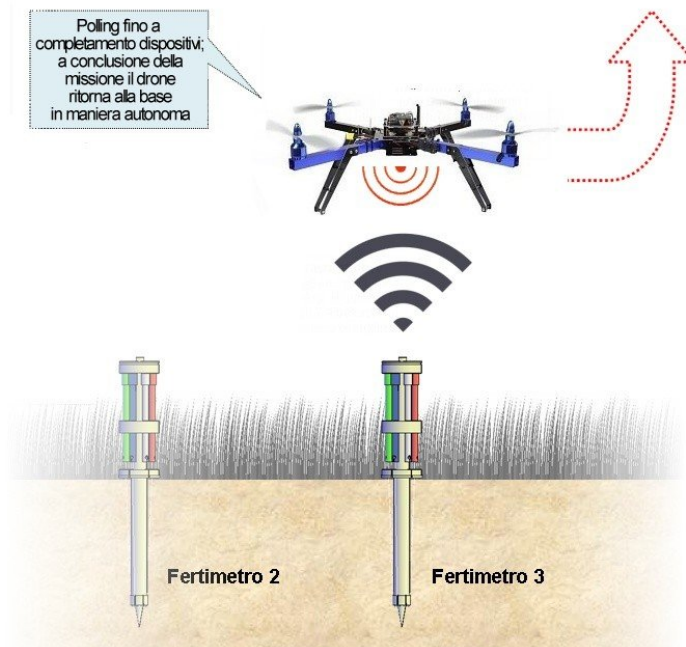
<sup>498</sup> *cf.* Paragrafo 4.7.2 sulle tecniche di navigazione automatica

<sup>499</sup> *push-pull*: protocollo trasmissivo che prevede che la comunicazioni tra dispositivi trasmittente e ricevente si avvii solo su disponibilità fisica e operativa di quest'ultimo

Ricevute le informazioni dal primo dispositivo, il drone riprende la navigazione sempre seguendo i *waypoints* e spostandosi al *Fertimetro* successivo. Anche qui, analogamente a quanto avvenuto precedentemente, lo UAV si arresta e mette in atto la ricezione dei dati ogni qual volta rileva la presenza di un dispositivo a terra secondo una logica definita di *polling*:<sup>500</sup> conclusa l'operazione passa al *Fertimetro* successivo e via così sorvolando i *Fertimetri* posizionati lungo l'intero percorso (**Figura 93**).



**Figura 93:** verifica e interrogazione (*polling*) sui vari *Fertimetri* nella missione *tipo a*) (fonte: Autore)



**Figura 94:** a conclusione missione *tipo a*) lo UAV ritorna alla base autonomamente (fonte: Autore)

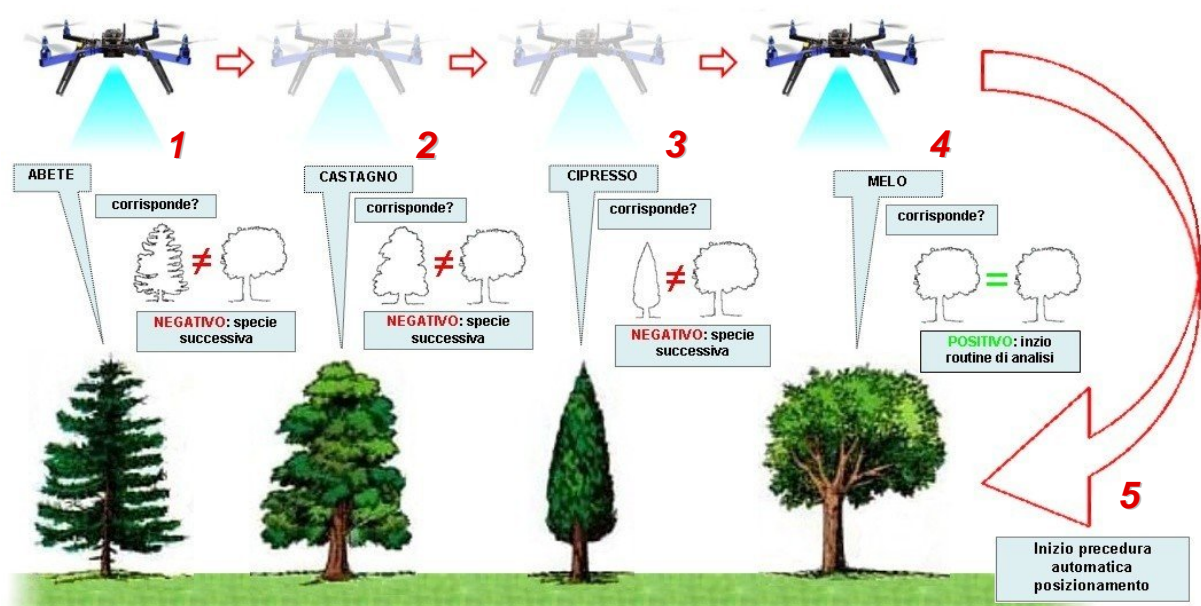
<sup>500</sup> si definisce con *polling* la fase di verifica dello stato e della disponibilità di un dispositivo

Alla fine della missione, dopo avere coperto l'area di interesse lo UAV ritorna alla base in maniera autonoma rendendo disponibili le informazioni raccolte per la successiva fase che ne prevede l'elaborazione e la valutazione (**Figura 94**).

### 7.2.2. Profilo "analisi fito-patologica" (missione tipo b)

L'altro profilo missione del progetto SKYCROP prevede lo svolgimento di una attività di "analisi fitopatologica" ed è stata definita come missione di *tipo b*); si tratta di una attività più complessa dalla precedente che vede l'impiego di una piattaforma mobile nell'obiettivo di determinare il livello di benessere di alcune specie vegetali.<sup>501</sup> In questo caso una piattaforma mobile, viene utilizzata non solo per individuare e riconoscere una specifica pianta ma anche per analizzare e stabilire *sul posto* il suo stato di salute utilizzando alcune delle tecniche e dei metodi esaminati nei capitoli precedenti.<sup>502</sup>

Come rappresentato nella **Figura 95** uno UAV equipaggiato di una serie di strumenti e dotato di un sistema di controllo "intelligente",<sup>503</sup> viene inviato su un'area secondo una modalità definibile di *ricerca*.



**Figura 95:** modalità di ricerca nella missione *tipo b*) con descrizione dei vari momenti (fonte: Autore)

A differenza del profilo missione *tipo a*), in questo caso la piattaforma mobile non solo è in grado di seguire un percorso GPS pre-determinato ma viene resa capace di svolgere una navigazione del tutto autonoma; inoltre potrà riconoscere e identificare, sempre in automatico, le specie vegetali che verrà a sorvolare lungo il percorso, in questo caso una serie di alberi ad alto fusto tra i quali dovrà poter

<sup>501</sup> cfr. il Paragrafo 3.3 sui fattori che determinano il benessere delle piante

<sup>502</sup> cfr. il Paragrafo 4.4 sulle tecniche innovative per riconoscere i disturbi nelle piante

<sup>503</sup> per "intelligenza" di una piattaforma mobile si veda quanto scritto nel Paragrafo 4.7.2

individuare una specie di interesse che si è supposto, come esempio, debba essere quella della pianta del melo.

La navigazione viene svolta utilizzando sensori ottici ed un *hardware* capaci di attuare le tecniche e i metodi della *Computer Vision* applicati alla navigazione autonoma descritti nel precedente capitolo: tra queste potrà essere utilizzata la tecnica di ricostruzione dell'ambiente circostante, quella del riconoscimento degli ostacoli o quella del tracciamento del percorso ottimale.<sup>504</sup> In questa fase si immagina che possano essere utilizzati anche ulteriori metodi sempre afferenti al campo della ricostruzione della realtà, ad esempio sulle immagini acquisite potrebbero essere utilizzate tecniche di riconoscimento degli oggetti che si basano su algoritmi definiti di *edge detection* o *edge matching*.<sup>505</sup> Queste tecniche tuttavia sono caratterizzate da vari fattori limitanti come l'essere sensibili al *rumore* presente nelle immagini<sup>506</sup> o avere bisogno di una notevole capacità / tempo elaborativo che si concilia poco con la loro applicabilità in contesti dinamici dove alcune operazioni devono poter avvenire in tempo reale.<sup>507</sup> Anche per questo e come descritto nei metodi per la navigazione autonoma l'impiego dei cosiddetti metodi di *Deep learnig* può produrre notevoli risultati proprio nel campo del riconoscimento e della classificazione automatica degli oggetti, rappresentando quindi una valida alternativa alle tecniche descritte sopra.<sup>508</sup>

Sempre facendo riferimento alla **Figura 95**, al di là dei metodi che possono essere utilizzati e che devono comunque essere ottimizzati per lo scopo o la missione che deve essere svolta, la metodologia utilizzata prevede l'analisi delle immagini per cercare al loro interno gli oggetti di interesse attraverso un'operazione di comparazione delle forme vegetali come illustrato nei *momenti 1, 2, 3*. Solo se la forma dei vari alberi sorvolati corrisponde a quella di riferimento, con chioma fitta e tondeggiante caratteristica della pianta del melo (si tratta della specie vegetale di interesse) come illustrato nel *momento 4*, allora il drone interromperà la modalità *di ricerca* per iniziare una procedura automatica di posizionamento come rappresentato nel *momento 5*. In caso contrario il velivolo continuerà il proprio volo proseguendo nella modalità *di ricerca*, passando ad esaminare le specie vegetali successive.

In questa nuova fase della missione avvicinandoci alla specie vegetale di interesse, il velivolo entrerà nella modalità *di analisi* applicando una serie di tecniche che consentono di analizzare il vegetale per determinarne il livello di benessere. Facendo ora riferimento alla **Figura 96** al *momento 2* lo UAV, utilizzando la sensoristica rappresentata in **Figura 62** dove veniva rappresentato un sensore ad ultrasuoni (*a*) e un telemetro laser (*b*), si avvicinerà sempre più alla pianta di interesse mantenendo una distanza che permetta alla strumentazione di poter svolgere le analisi garantendo comunque una adeguata sicurezza.

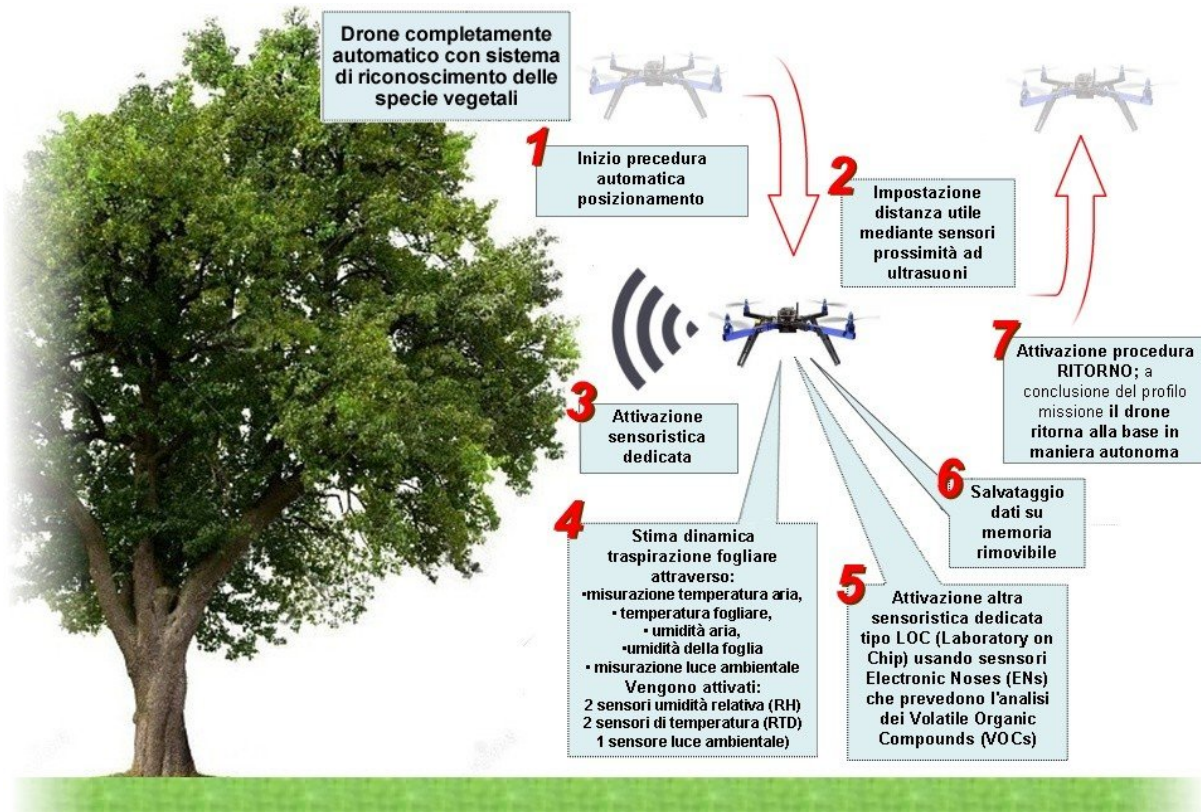
<sup>504</sup> *cf.* Paragrafo 4.7.3 sulle tecniche e sui metodi per la navigazione autonoma

<sup>505</sup> si tratta di ulteriori metodi per il riconoscimento degli oggetti rispetto a quelli descritti precedentemente: la tecnica della *edge detection* viene utilizzata per riconoscere i punti di un'immagine digitale in cui l'intensità luminosa cambia bruscamente e che permette di identificare alcune caratteristiche del mondo reale, ad esempio la discontinuità delle superfici che solitamente rappresenta i bordi (contorno) di un oggetto; la tecnica della *edge matching* invece, rappresenta il processo successivo nel quale avviene l'organizzazione delle informazioni rilevate che determina, nel caso dei bordi dell'oggetto, quali di questi vanno combinati insieme a formare e definire l'oggetto completo

<sup>506</sup> con *rumore* in un'immagine ci si riferisce ad una variazione casuale della luminosità o del colore degli oggetti che pregiudica la leggibilità e quindi il loro riconoscimento

<sup>507</sup> Maimi R., Aggarwal H., 2009, Study and comparison of various image edge detection techniques

<sup>508</sup> Radovic M. et al., 2017, *op. cit.*



**Figura 96:** modalità di analisi della missione di tipo b) con la descrizione dei vari momenti (fonte: Autore)

Al momento 3 viene attivata la sensoristica dedicata; tra le prime analisi si cerca di riconoscere la presenza di problemi abiotici del vegetale così come descritti nel Capitolo 3;<sup>509</sup> ad esempio, fra le varie evidenze facilmente rilevabili attraverso la semplice osservazione ottica, il colore giallo pallido delle foglie può essere sintomatico della mancanza di alcune sostanze tipo l'azoto mentre la necrosi sui margini fogliari può dare indicazioni sulla mancanza di potassio.<sup>510</sup> E' facile immaginare che lo UAV possa rilevare automaticamente questo tipo di problematiche utilizzando tecniche di *Computer vision* non troppo sofisticate applicate alle immagini rilevate da una fotocamera; si tratta di un primo passo per determinare il benessere della pianta. Il secondo passa attraverso l'utilizzo di sensoristica più avanzata così come descritta nel Paragrafo 4.7.5: nel momento 4, attraverso un dispositivo di tipo FPGA che riunisce al suo interno una serie di sensori,<sup>511</sup> viene svolta una stima della dinamica della traspirazione fogliare che può essere quantificata attraverso la rilevazione della temperatura, dell'umidità dell'aria e delle foglie, oltre che della luce ambientale.<sup>512</sup>

Al momento 5 possono essere attivati anche altri sensori più complessi, ad esempio degli *Electronic Noses* in grado di accertare la presenza di Composti Organici Volatili nell'aria (VOC) specifici per il campo agro-forestale come, ad esempio, quelli utili a determinare il corretto metabolismo cellulare o la presenza di pesticidi o altri contaminanti sulla pianta e nelle sue immediate vicinanze;<sup>513</sup> un loro

<sup>509</sup> si veda il Paragrafo 3.3.1 per un'ampia descrizione degli effetti visivi sulle piante di alcune comuni sintomatologie abiotiche

<sup>510</sup> cfr. la Tabella 1 dove vengono mostrati gli effetti della mancanza o dell'eccesso di alcuni elementi su diverse colture vegetali

<sup>511</sup> si veda la Tabella 2 per una lista non esaustiva della sensoristica avanzata che potrebbe essere trasportata su piattaforme mobili con una descrizione dei possibili impieghi nel settore agricolo

<sup>512</sup> Almaraz R. et al., 2010, FPGA-based fused smart sensor for real-time plant-transpiration dynamic estimation

<sup>513</sup> cfr. Paragrafo 4.4.3 che descrive la natura dei VOC e come possono essere utilizzati per identificare alcuni disturbi delle piante



elenco con alcuni possibili utilizzi viene descritto dettagliatamente in **Figura 49**. I dati rilevati verrebbero quindi salvati su supporto removibile, *momento 6* e, analogamente a quanto previsto nella missione precedente, il drone ritornerebbe alla base in maniera autonoma permettendo infine di scaricare le informazioni raccolte per la loro successiva elaborazione e valutazione (*momento 7*).

### 7.3. Il progetto "FLIF" (Flying Livestock Farming)

In questo progetto che è stato denominato "FLIF", *Flying Livestock Farming*, si cambia ambito applicativo passando dall'agricoltura all'allevamento. Partendo da alcune delle tecnologie trasmissive che vengono comunemente impiegate per il tracciamento degli animali selvatici, si è cercato di comprendere come questi strumenti, anche abbinati all'impiego di UAV, possano essere utilizzati per la verifica della posizione e dello stato di salute degli animali al pascolo. Infatti l'esigenza di una migliore gestione delle mandrie insieme alla comprensione del modo in cui i capi da allevamento si muovono su un determinato territorio, sono alcuni dei temi esaminati nelle questioni di partenza;<sup>514</sup> come veniva descritto, oggi è possibile monitorare contemporaneamente sia la localizzazione di un animale che lo stato delle sue attività fisiologiche evidenziando inoltre alcuni parametri di specifico interesse come ad esempio la temperatura corporea, il battito cardiaco, il respiro, ecc.

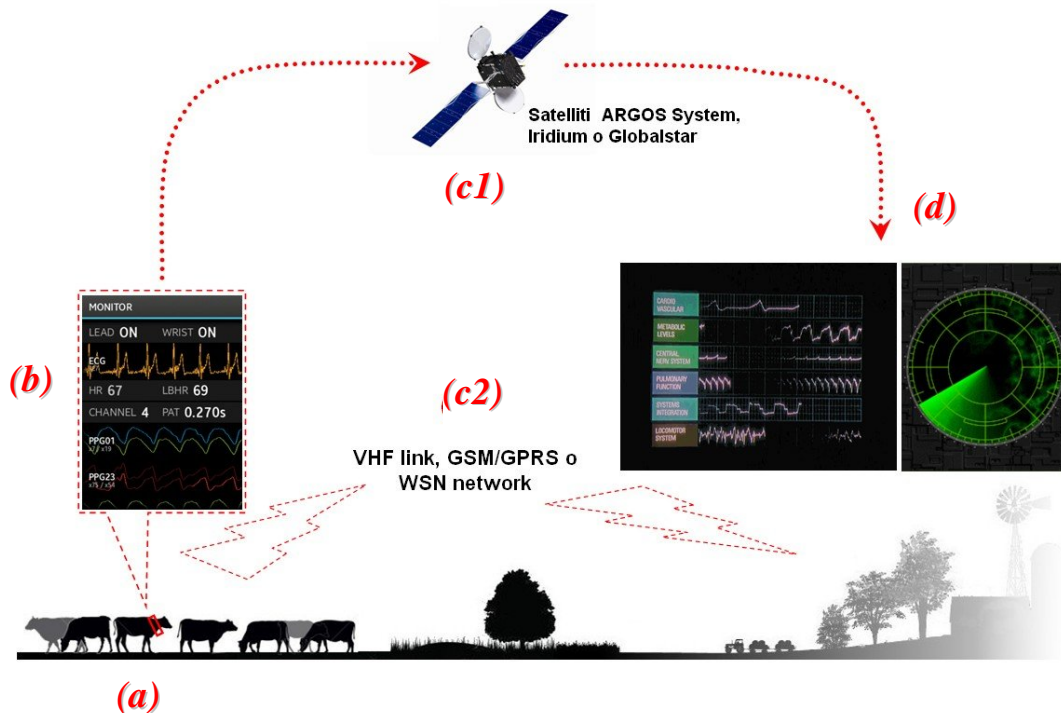
Grazie all'evoluzione della sensoristica e delle tecnologie trasmissive tutte queste operazioni possono ora essere svolte in tempo reale<sup>515</sup> e, come riportato nel Paragrafo 4.6.3, questo sviluppo si è avuto prima nel campo del *tracking* degli animali selvatici dove i collari GPS possono essere utilizzati svariate modalità che spaziano dalla radio-frequenza, alla rete cellulare GSM, a quella di tipo WSN fino alla capacità di poter comunicare tramite satelliti geostazionari in modalità anche bidirezionale.<sup>516</sup> Sempre in questo ambito si ritiene inoltre che lo sviluppo della tecnologia degli UAV e dell'intelligenza artificiale applicata al volo può aggiungere qualcosa di nuovo aprendo ulteriori grandi potenzialità: in campo allevativo queste tecnologie potrebbero essere utilizzate in maniera combinata soprattutto per il controllo e il monitoraggio delle mandrie e per comunicare in remoto eventuali situazioni di pericolo o criticità in cui venga a trovarsi il singolo animale al pascolo. Queste condizioni possono essere determinate dalla semplice perdita di orientamento (animale fuori posizione) o da una variazione dei parametri fisiologici fondamentali (temperatura corporea, battito cardiaco, ecc.) dovuti, ad esempio, all'insorgere di una patologia importante o di un malore, così come essere causate da un trauma o, al limite, determinate dall'aggressione di qualche predatore.

Lo scenario che viene ipotizzato è il seguente: facendo riferimento alla **Figura 97**, ogni singolo animale che appartiene ad un pascolo (*a*) è dotato di un collare GPS sul quale un'applicazione ha il compito di monitorare costantemente alcuni parametri vitali (*b*); questi vengono acquisiti attraverso una serie di sensori che fanno parte del dispositivo o che possono essere distribuiti sul corpo dell'esemplare.

<sup>514</sup> *cf.* il Paragrafo 3.4.2 sull'importanza del monitoraggio delle mandrie e il Paragrafo 3.4.3 sul modo in cui gli animali utilizzano il territorio

<sup>515</sup> *Turner L. et al., 2000, op. cit.*

<sup>516</sup> *cf.* la Figura 58 sulle diverse modalità di trasmissione dei radio collari GPS per il *tracking* animale



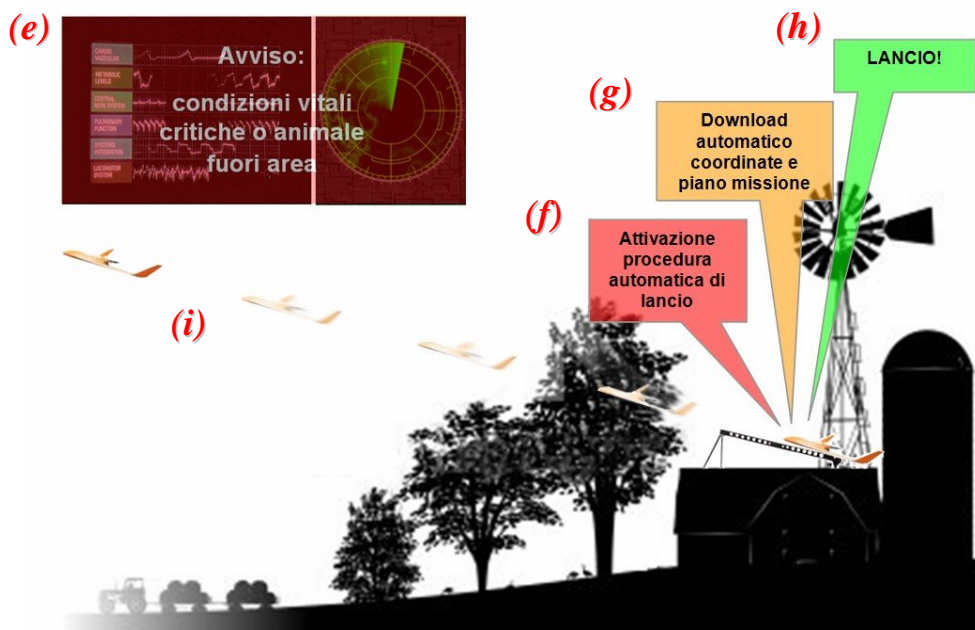
**Figura 97:** modalità trasmissive dei parametri fisiologici e della posizione geografica di un animale al pascolo nel progetto "FLIF" (fonte: Autore)

Le tecnologie sensoristiche alla base di questi sensori sono state esaminate nel Paragrafo 4.3.3 e prevedono un certo numero di dispositivi capaci anche di rilevare le attività intracorporee degli animali.<sup>517</sup> Il radio collare viene messo nella condizione di poter comunicare attraverso tecnologie trasmissive di diverso tipo (c1) o (c2) verso la stazione remota dove, attraverso una semplice interfaccia, viene visualizzata la posizione geografica e lo stato di salute dell'animale (d). Queste informazioni, seguendo alcune delle raccomandazioni riportate nella sezione che affronta il tema dei *Big data*, possono anche non essere trasmesse *in continuo*.<sup>518</sup>

Ciò che viene trasmesso immediatamente invece, è il verificarsi di un evento critico che, come anticipato, è rappresentato da tutte quelle circostanze che vanno ad alterare i normali parametri fisiologici dell'animale ma anche dal fatto che l'esemplare si trovi esternamente all'area solitamente utilizzata per il pascolo. Se questa eventualità è determinabile facilmente attraverso una semplice tecnica di geolocalizzazione GPS, nel primo invece è necessario stabilire dei valori soglia superati i quali il sistema entra in allerta inviando un allarme alla stazione remota (d), che altro non è che la fattoria

<sup>517</sup> *cf.* la Figura 41 per un esempio di sensore intracorporeo

<sup>518</sup> si veda ancora il Paragrafo 5.2.1 sulla raccolta dati prodotti con una certa ampiezza temporale



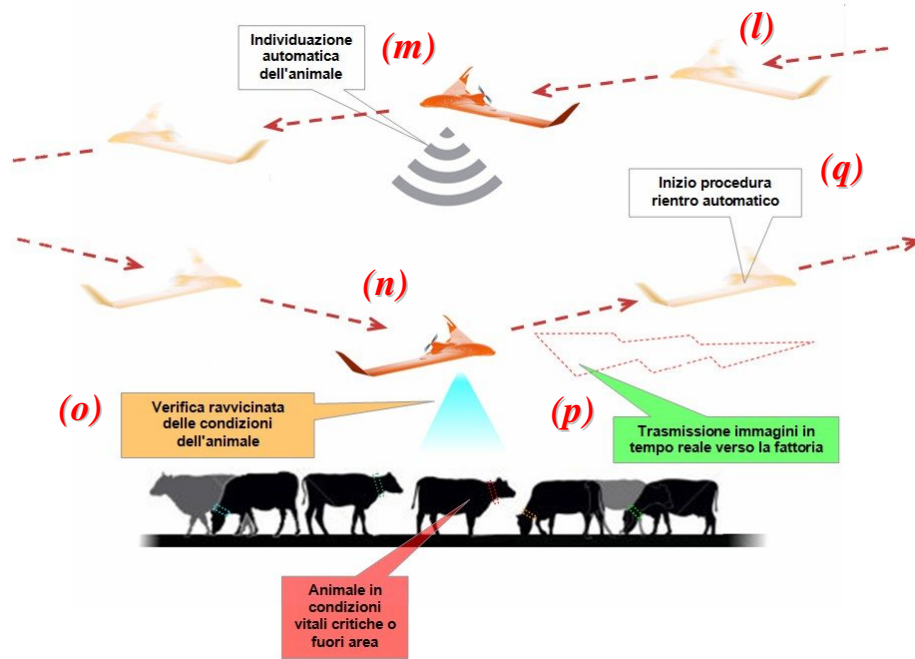
**Figura 98:** fasi preliminari alla missione di uno UAV in caso di ricevimento di un evento critico nel progetto "FLIF" (fonte: Autore)

Facendo riferimento alla **Figura 98**, alla ricezione dell'allarme (e) e in maniera del tutto automatica, vengono attivate le procedure di lancio di uno UAV, in questo caso un drone ad ala fissa (f). La scelta di questo tipologia rispetto ad una soluzione ad ala rotante è dovuta alla maggiore autonomia operativa che consente al velivolo di rimanere in volo per molto tempo, coprendo vaste estensioni geografiche e ad una velocità di crociera più elevata, e permettendo al drone di raggiungere rapidamente il luogo di interesse.

Proseguendo nell'analisi di questa missione, vengono acquisite via radio tutte le informazioni relative alla posizione dell'animale in difficoltà (g), valutando se questo ricade in un'area compatibile con l'autonomia operativa; la missione di volo dello UAV viene quindi pianificata in maniera dettagliata secondo un piano di volo che prevede che l'obiettivo venga raggiunto secondo un tragitto ottimale che tenga conto della conformazione del terreno, della presenza di ostacoli, ecc., potendo fare riferimento ad una mappatura del territorio acquisita precedentemente. Svolte queste operazioni preliminari, il velivolo viene lanciato in maniera automatica mediante un sistema a catapulta (h) e (i). Da questo momento lo UAV è in grado di muoversi in maniera del tutto autonoma.

Facendo riferimento ora alla **Figura 99**, seguendo il piano missione costruito automaticamente con le informazioni ricevute nelle fase preliminare, il drone potrà avvicinarsi all'animale in difficoltà iniziando una procedura che lo porta a posizionarsi in un'area dove dovrebbe trovarsi il soggetto di interesse (l). A questo punto è possibile localizzare l'obiettivo con maggiore precisione determinando la sua posizione utilizzando il segnale proveniente dal suo radio collare (m).<sup>519</sup>

<sup>519</sup> tecnica di analisi della forza del segnale (*Signal Strength Analysis*) che si basa sull'utilizzo di algoritmi di prossimità



**Figura 99:** fase di avvicinamento e rilevazione delle reali condizioni dell'animale da pascolo nel progetto "FLIF" (fonte: Autore)

Agganciato questo segnale e determinata con precisione la posizione dell'animale, lo UAV è in grado di impostare autonomamente un sentiero di discesa che lo porta nelle sue immediate vicinanze; in questa posizione, attraverso una videocamera, viene finalmente effettuata una verifica ravvicinata delle sue reali condizioni fisiche determinandone il livello di sicurezza (*n*).

Come anticipato l'evento critico che ha attivato l'allarme remoto può essere causato da diversi fattori come l'insorgere di una grave patologia, un trauma, l'aggressione da parte di un predatore, o più semplicemente dal fatto che l'animale si è perso ed è quindi fuori posizione.

A questo punto (*p*) l'immagine acquisita dal drone può essere inviata utilizzando una delle varie tecnologie trasmissive esaminate precedentemente, permettendo all'operatore remoto di svolgere un confronto tra l'informazione di pericolo ricevuta inizialmente con le reali condizioni dell'animale decidendo così se intervenire di persona.<sup>520</sup> Alternativamente l'immagine viene immagazzinata internamente ad un dispositivo di memoria per una la sua successiva valutazione.

Si ritiene che il punto di forza di questa proposta stia nella possibilità di una rapida verifica delle situazioni di pericolosità in cui possono venirsi a trovare degli animali al pascolo: l'operatore remoto infatti, in base a quanto acquisito dal drone, decide se intervenire immediatamente o rimandare l'intervento ad un secondo momento, eventualità che può verificarsi quando un animale non ha necessità immediata di cure urgenti. A conclusione lo UAV ritorna alla base sempre autonomamente ponendo così fine alla missione (*q*).

<sup>520</sup> al fine di questa verifica potrebbero essere sufficienti delle immagini statiche ma lo sviluppo dello standard video HVEC (High Efficiency Video Coding) H.265, con i suoi alti valori di compressione e di efficienza, ne permette un suo utilizzo anche in ambito scientifico su reti con ridotta capacità di trasporto dati; a tal proposito *cfr. Razaak M., Martini M., 2014, Rate-distortion and rate-quality performance analysis of HVEC compression of medical ultrasound videos*

## 7.4. Analisi dei progetti

Vengono descritte analiticamente le attività svolte internamente ai progetti SKYCROP e FLIF (Tabella 3, Tabella 4), determinandone il livello di complessità e svolgendo una loro analisi di fattibilità. Le attività sono state raggruppate in sei fasi temporali: preliminare (che comprende le fasi di preparazione della missione), iniziale (dal momento del decollo fino alla fase successiva), di ricerca, di individuazione dell'obiettivo, di acquisizione delle informazioni e di rientro (fine della missione).

Per ogni fase si è posta una certa attenzione al livello di complessità delle attività svolte: a questo livello è stato associato un codice colore che parte dal rosso (complessità elevata) e arriva al verde (complessità bassa) passando per il giallo (media); la complessità viene determinata dal grado di autonomia richiesto dai vari sistemi ed implica la capacità di acquisire, pianificare ed eseguire una serie di azioni articolate.

fasì	tipologia missione	attività progetto SKYCROP	livello di complessità
preliminare (pre-missione)	a)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• i <i>Fertimetri</i> devono essere equipaggiati di un sistema di raccolta dati e di un apparato trasmissivo di tipo <i>wireless</i> e devono essere posizionati sul territorio in maniera geo-riferita;</li> <li>• la missione deve essere pianificata attraverso l'acquisizione di una dettagliata mappa dell'area di interesse decidendo quali sono i <i>waypoints che</i> lo UAV dovrà seguire in base alla precisa localizzazione di ogni <i>Fertimetro</i></li> </ul>	bassa
	b)	nessuna	-
iniziale	a)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• i <i>waypoints</i> vengono caricati nel sistema di navigazione dello UAV;</li> <li>• il drone viene portato nelle vicinanze dell'area di interesse e messo nelle condizioni di volo</li> </ul>	bassa
	b)	il drone viene portato nelle vicinanze dell'area di interesse, predisposto al decollo e messo nelle condizioni di volo	bassa
ricerca	a)	il drone seguendo la rotta preimpostata rileva di volta in volta la presenza dei <i>Fertimetri</i> a terra	bassa
	b)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• il drone, in modalità di volo autonomo, svolge la ricerca della specie vegetale di interesse;</li> <li>• attraverso un lavoro di analisi delle immagini acquisite vengono esaminate le varie specie vegetali individuando tra queste quelle di interesse</li> </ul>	elevata
individuazione	a)	una volta rilevata la presenza di un <i>Fertimetro</i> a terra lo UAV si arresta nelle sue vicinanze e si mette in attesa dell'acquisizione dei dati	media
	b)	individuata la specie vegetale di interesse lo UAV interrompe la fase di ricerca avvicinandosi alla pianta per attivare la sensoristica di analisi	elevata
acquisizione dati	a)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• viene attivata la modalità di ricezione dei dati;</li> <li>• lo UAV rimane in attesa fino al completamento dell'operazione</li> </ul>	bassa

	b)	<ul style="list-style-type: none"> <li>vengono attivati una serie di sensori specifici "di missione";</li> <li>il drone rimane in attesa fino al completamento di questa attività</li> </ul>	<b>media</b>
<b>rientro</b>	a)	completata l'acquisizione dei dati lo UAV rientra seguendo i <i>waypoints</i> preimpostati	<b>bassa</b>
	b)	viene seguita una procedura di rientro automatico in base a delle coordinate inerziali o GPS	<b>bassa</b>

**Tabella 3:** analisi delle attività del progetto SKYCROP per le due tipologie di missione, *tipo a)* "raccolta dati" e *tipo b)* "analisi fito-patologica"

<b>fasi</b>	<b>attività progetto FLIF</b>	<b>livello di complessità</b>
<b>preliminare (pre-missione)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>gli animali da pascolo vengono dotati di un radio collare in grado di comunicare in remoto parametri vitali e posizione geografica;</li> <li>la stazione base (fattoria) è attrezzata per ricevere in continuo i dati da parte degli animali al pascolo;</li> <li>lo UAV viene posto in uno stato di allerta (pronto al decollo) e il suo sistema di navigazione viene caricato della mappe dell'area di interesse</li> </ul>	<b>media</b>
<b>iniziale</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>in condizioni di criticità il radio collare posto su di un animale invia un allarme alla fattoria;</li> <li>presso la stazione base, le informazioni sulla posizione dell'animale in difficoltà vengono caricate automaticamente nel computer di volo dello UAV;</li> <li>il drone viene lanciato mediante un sistema a catapulta automatico</li> </ul>	<b>media</b>
<b>ricerca</b>	il drone viaggia verso la posizione presunta dell'animale	<b>bassa</b>
<b>individuazione</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>lo UAV si avvicina all'area nella quale si trova l'animale in difficoltà;</li> <li>viene svolta la localizzazione di precisione in base al segnale radio emesso dal radio-collare</li> </ul>	<b>media</b>
<b>acquisizione</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>una volta individuato il drone si posiziona in prossimità dell'obiettivo;</li> <li>viene svolta una verifica ravvicinata delle reali condizioni fisiche dell'animale determinandone il livello di sicurezza;</li> <li>le immagini vengono trasmesse alla stazione base</li> </ul>	<b>media</b>
<b>rientro</b>	viene eseguita una procedura di rientro automatico in base alle coordinate inerziali o GPS	<b>bassa</b>

**Tabella 4:** analisi delle attività del progetto FLIF

Appare evidente che la missione più complessa in termini assoluti risulta essere quella di "analisi fito-patologica" descritta nel progetto SKYCROP così come rilevabile dalla **Tabella 3**, missione *tipo b)*. Nello specifico di questa missione le fasi più critiche risultano essere quella di ricerca / individuazione della specie vegetale di interesse e di posizionamento nelle sue immediate vicinanze in modo da poter attivare la sensoristica di missione.

E' proprio in queste fasi che possono essere utilizzate tecniche e gli strumenti dell'intelligenza artificiale esaminate precedentemente. Di seguito viene svolta un'analisi sulla fattibilità per ogni singolo progetto.

#### **7.4.1. Fattibilità delle soluzioni proposte**

##### **Progetto SKYCROP - missione tipo a)**

L'impiego di "droni per raccogliere dati" si giustifica in base all'estensione dell'area sulla quale si viene ad operare e se la distanza tra i singoli dispositivi è tale da rendere problematica o impraticabile la realizzazione di reti di trasmissione dati; rispetto, ad esempio, ad una rete WSN, anche in virtù della bassa quantità di informazioni che verrebbero scambiate (flusso dati ridotto), i trasmettitori utilizzati possono essere semplici e non avere bisogno di grande portata (al massimo poche decine di metri).

Per questo motivo, nell'obiettivo di rendere più semplice possibile i sistemi e massimizzare l'efficienza energetica, per questo tipo di missione è anche possibile ipotizzare l'utilizzo di dispositivi basati su trasmettitori di tipo *Active RFID*<sup>521</sup> o che utilizzino il protocollo *Near Field Communication* (NFC), a patto che vengano superati alcuni dei limiti operativi di queste tecnologie;<sup>522</sup> il loro utilizzo si giustifica inoltre per il fatto che, utilizzando un veicolo che si pone in stretta vicinanza dei dispositivi, la trasmissione dati è meno influenzabile dalle problematiche di copertura fogliare che, come si è visto, riducono la propagazione delle onde radio e quindi la loro portata.<sup>523</sup>

In questa proposta appare evidente che, nonostante il livello di autonomia e automazione richiesto non sia elevato, è comunque necessario che lo UAV sia dotato, oltre che dell'abilità di muoversi su di un territorio, anche della capacità di interazione con gli eventi esterni: la prossimità ad un *Fertimetro* deve poter mettere in atto automaticamente le procedure di inizio o fine ricezione dati e, proprio per questo motivo, l'elettronica di controllo del velivolo deve poter interagire con il sistema trasmissivo / ricevente ed essere in grado di interrompere e riprendere il volo automatico mantenendo memoria del percorso e della posizione dei vari dispositivi. Visto comunque il livello non elevato di complessità di queste operazioni si ritiene che questo progetto sia realizzabile a livello sperimentativo e con le tecnologie attualmente disponibili in tempi relativamente brevi.

##### **Progetto SKYCROP - missione tipo b)**

Appare chiaro che in questo caso l'intelligenza che controlla lo UAV ha un ruolo più determinante rispetto al profilo missione di *tipo a)*. In primo luogo il drone deve potersi muovere lungo un percorso in maniera autonoma, correggendo eventuali scostamenti di rotta dovuti alle condizioni meteo (vento, ecc.), e deve essere progettato per dialogare costantemente con i sensori e gli altri dispositivi di bordo potendo interagire con loro. In secondo luogo il sistema di controllo di volo imbarcato deve permettere al drone di muoversi svolgendo contemporaneamente un lavoro di ricerca ma anche, una volta individuato l'oggetto di interesse (una specifica pianta), deve essere capace di passare da una modalità di ricerca ad una di analisi, ritornando alla prima quando conclusa la seconda. Il vantaggio, rispetto a

<sup>521</sup> riguardo agli RFID si veda la Nota 191

<sup>522</sup> si tratta di una tecnologia *wireless* a breve portata che rappresenta un'evoluzione rispetto a quella RFID permettendo una comunicazioni tra dispositivi di tipo bidirezionale; il suo limite operativo è quello della distanza trasmissiva, inferiore al metro

<sup>523</sup> *cf.* il Paragrafo 4.3.4

quella di *tipo a*), è che questa missione non deve essere pianificata attraverso l'acquisizione in anticipo di tutta una serie di informazioni ma può svolgersi in maniera del tutto automatica senza alcun intervento umano.

Per questo motivo, visto il livello decisamente elevato di complessità di queste operazioni, si ritiene che questo progetto sia realizzabile a livello sperimentativo e con le tecnologie attualmente disponibili in tempi medio / lunghi.

### **Progetto FLIF**

Appare evidente l'utilità di un sistema di questo tipo dove agli animali è permesso il pascolo all'aperto e nei quali si pongono questioni della loro sicurezza, scenario tipico dei contesti a grande estensione geografica. Anche in questo caso assume una certa importanza l'intelligenza che controlla lo UAV ma, rispetto alle situazioni esaminate precedentemente, non è sufficiente che questa caratteristica risieda solo su un dispositivo (il drone) ma è necessario che anche il radio collare, di cui sono dotati gli animali, sia in grado di svolgere alcune operazioni complesse come l'analisi, la valutazione e l'invio automatico di avvisi se alcuni parametri vitali superano determinate soglie.

Nella fattoria poi, un sistema di controllo è in grado di ricevere questi avvisi e, sempre autonomamente, è capace di ricavare da queste informazioni tutti i parametri utili per pianificare la missione di volo del drone che verrà poi lanciato verso l'animale in difficoltà. Lo UAV inoltre, dovrà determinare sempre autonomamente la posizione precisa di questo animale, avvicinandosi a esso il più possibile e inviando le immagini / video / audio che lo riguardano verso la stazione base. Alla fine di tutte queste operazioni il drone dovrà essere in grado di ritornare alla fattoria in maniera autonoma.

In un'analisi più specifica queste operazioni, nella loro singolarità, non presentano un livello elevato di complessità, almeno non così alto come nel profilo missione di *tipo b*) del progetto SKYCROP dove è prevista l'applicazione di complesse tecniche di *Computer vision* al fine di riconoscere le varie specie vegetali; in questo caso invece, si ritiene che la vera sfida risiede nel farle funzionare insieme e in maniera coordinata. Anche per questo si valuta che il progetto sia realizzabile in tempi brevi / medi ma abbia bisogno di una accurata fase di sperimentazione nella quale questioni di affidabilità e *interoperabilità* dei vari sistemi devono essere risolte con una certa attenzione.<sup>524</sup>

Molte delle operazioni descritte in questi progetti possono essere rappresentate da una serie completa e strutturata di *subroutines*<sup>525</sup> che sono tipiche dei sistemi caratterizzati da un elevato livello di autonomia; implicazioni e collegamenti con il campo della robotica appaiono evidenti.<sup>526</sup> Se le tecnologie per svolgere queste azioni sono, nella loro individualità, del tutto fattibili, tuttavia non risulta che allo stato attuale le piattaforme disponibili siano in grado di svolgere queste operazioni in maniera integrata e combinata come invece auspicato nel Paragrafo 7.1.

Si ritiene che questo possa dipendere da una serie di fattori: innanzitutto dalla complessità dei compiti richiesti ma anche dalla natura "chiusa" dell'*hardware* o dei *software* che vengono impiegati e che sono essenzialmente di tipo commerciale; deve inoltre essere evidenziato che fino ad oggi lo sviluppo del mercato della sensoristica per gli UAV si è rivolto quasi esclusivamente al campo dell'aerofotogrammetria o dell'analisi delle immagini (tecniche NDVI, ecc.), ponendo in secondo

<sup>524</sup> con *interoperabilità* si intende la capacità di un sistema di cooperare e di scambiare informazioni o servizi fra vari sistemi spesso con caratteristiche eterogenee

<sup>525</sup> *subroutines*: sequenza di singole istruzioni che vengono raggruppate permettendo di svolgere un'operazione specifica e più complessa

<sup>526</sup> Tobe F., 2014, The ultimate guide to agricultural robotics



piano altri possibili scopi che potrebbero prevedere l'impiego di sensoristica più avanzata (dispositivi MEMS, LOC, ecc.). Non può infine essere trascurato che in ambito agricolo e allevativo si avverte la mancanza di una visione "condivisa" sulle potenzialità della robotica e dell'automazione soprattutto da parte dei cosiddetti professionisti del settore,<sup>527</sup> e va anche evidenziata una certa riluttanza verso le nuove tecnologie soprattutto se queste vengono viste come portatrici di forti cambiamenti riguardo alle questioni sociali e del lavoro.<sup>528</sup>

Si ritiene quindi che solo quando tutte queste questioni verranno risolte sarà possibile l'affermarsi di un nuovo modello capace di rivoluzionare il modo in cui oggi si pratica l'agricoltura e l'allevamento e che vedrà in questi dispositivi gli strumenti per attuare questo cambiamento.

---

<sup>527</sup> Tobe F., 2014, Will agricultural robots arrive in time to keep fruit and vegetable costs down?

<sup>528</sup> *ibidem*

(pagina bianca)

## 8. APPLICABILITÀ DELLE IDEE PROGETTUALI

### 8.1. La scelta del Brasile come ambito geografico "esteso"

Conciliare lo sviluppo socioeconomico dei paesi in via di sviluppo con la conservazione delle risorse naturali è una delle sfide più importanti di oggi e di domani. Forse in nessun'altra area come l'America Latina tale sfida è attuale, oltre che richiede una risposta urgente, perché questo continente possiede uno straordinario patrimonio naturale che corre il rischio di essere inevitabilmente compromesso anche alla luce del rapido aumento della popolazione e dello sviluppo, spesso senza regole, che questi paesi stanno oggi vivendo.

Nella comprensione se quanto proposto in questo lavoro possa dare una risposta ad alcune questioni in campo agricolo e allevativo, e quindi possa aiutare a risolvere in piccola parte le questioni dello sviluppo socio-economico di questi paesi, si è considerata la realtà della Repubblica Federativa del Brasile. Tra quelli dell'America Latina questo paese non solo è il più ricco in biodiversità (sia in termini di ecosistemi che di specie), ma è anche quello nel quale un recente e veloce sviluppo economico ha fatto emergere notevoli criticità e dove vi è la necessità di affrontare proprio complesse questioni legate alla sicurezza alimentare per garantire alla popolazione risorse adeguate e sicure anche in relazione alle esportazioni, che rappresentano una voce importante dell'economia di quel paese.

Nella logica inoltre che le idee progettuali qui presentate troverebbero una ideale applicazione proprio ad ambiti di grande estensione geografica, a fine 2015 è stata fatta visita ad alcuni enti di ricerca e istituzioni brasiliane che si occupano di sviluppo e applicazione di tecnologie innovative nel campo dell'agricoltura, dell'allevamento e della preservazione delle risorse naturali. L'obiettivo è stato innanzitutto quello di verificare le criticità dei vari sistemi ambientali di questo paese, valutando quali soluzioni sono state applicate per risolvere le varie problematiche in questi campi e se le idee proposte in questo lavoro di ricerca potrebbero avere applicazione in quel contesto.

In Brasile è operativa l'*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria* (Embrapa), agenzia federale per la ricerca in agricoltura e nell'allevamento che, tra i vari obiettivi ha quello dello studio, lo sviluppo e l'applicazione di tecnologie innovative in questi campi. Per questa ragione, vista l'attinenza con i temi di questa ricerca, si sono visitate varie unità territoriali di Embrapa, oltre che alcune università, tra le quali la prestigiosa *Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*, l'*Universidade do Estado de São Paulo* e l'unità operativa *Embrapa Instrumentação* specializzata nello sviluppo di nuove tecnologie per l'agricoltura e l'allevamento. Si è inoltre visitata l'importante *Universidade Federal do Mato Grosso do Sul* e l'unità operativa *Embrapa Gado de Corte* dove si svolge la sperimentazione di alcune delle soluzioni tecnologiche sviluppate dai centri di ricerca.

Presso queste istituzioni si sono svolti incontri con tecnici e ricercatori che hanno illustrato quello che è lo stato dell'arte nella ricerca in Brasile e ai quali sono state esposte le idee progettuali descritte precedentemente; anche alla luce dell'interesse e della disponibilità riscontrata si ritiene che le idee proposte in questo lavoro siano sviluppabili e portatrici di grandi vantaggi ad agricoltori e allevatori, oltre che alle istituzioni tenute a governare e ad indirizzare le politiche economiche in questi settori.

La loro applicazione inoltre permetterebbe un più razionale utilizzo delle risorse naturali in quel paese e potrebbe rappresentare una delle possibili soluzioni in grado di conciliare i fattori di sviluppo economico con la conservazione di queste risorse.

## 8.2. Analisi economica e ambientale del paese

### 8.2.1. Una realtà economica e sociale complessa

Il Brasile può essere considerato come un'isola *lusofona*<sup>529</sup> nelle Americhe, confinando infatti solo con paesi di lingua spagnola; inoltre ha una estensione quasi continentale con una superficie di 8,5 milioni di kmq e possiede 15 mila km di linea costiera. È una repubblica federale composta da 26 stati e un Distretto dove ha sede la capitale, Brasilia, inaugurata ufficialmente nel 1960.<sup>530</sup> Nel corso della sua storia, iniziata nel 1500 e fino ai primi decenni del '900, i suoi territori sono sempre stati oggetto di contese e conflitti con gli stati di lingua spagnola per questioni di confine ma anche tra gli stessi brasiliani, per l'occupazione di zone da sfruttare per le miniere e le coltivazioni o per gli insediamenti industriali e la fondazione di nuove città.

Secondo alcuni storici brasiliani sino ad oggi il paese si è sviluppato secondo logiche subordinate rispetto agli interessi delle grandi multinazionali occidentali,<sup>531</sup> queste società infatti possiedono, proprio nel campo delle materie prime e nel settore alimentare, un accesso privilegiato alle risorse senza che questo si sia mai tradotto in un ritorno locale a parte enormi territori sconvolti dallo sfruttamento o fortemente inquinati.<sup>532</sup> Questo paese inoltre è stato visto come un luogo di proiezione della politica economica "per blocchi" del dopoguerra, un enorme e rigoglioso *giardino dietro casa* nel quale sembrava lecito *prendere senza chiedere*, dove alle logiche coloniali dei secoli scorsi si sono sostituite quelle delle ideologie contrapposte, che avevano comunque nel controllo o nell'accaparramento delle risorse naturali la loro ultima ragione d'essere.<sup>533</sup> E' innegabile tuttavia che il paese negli ultimi decenni è enormemente cresciuto portando all'affermarsi di una classe media che ha avuto accesso a buoni livelli di benessere e consumo, ma permangono ampie aree sociali che non hanno beneficiato di questo *welfare* ed è oggi evidente, visitando soprattutto le grandi aree urbane, che la forbice tra chi ha molto e chi ha poco (o nulla) si è enormemente ampliata.<sup>534</sup>

Ad ogni modo, con i suoi oltre 200 milioni di abitanti, il Brasile ha di fatto le dimensioni di un sub-continente e l'esistenza di una considerevole domanda interna ha favorito la realizzazione di grandi investimenti produttivi che hanno bisogno di ricerca e sviluppo nei vari campi; questo paese infatti è diventato un punto di riferimento per il livello di sviluppo della sua economia e per le ulteriori potenzialità di crescita, oltre che rappresentare un *hub* per l'ingresso nel paese per il settore

<sup>529</sup> isola *lusofona*: territorio che adotta il portoghese come propria lingua (si intende per lo più come lingua ufficiale o principale)

<sup>530</sup> molti dei progetti degli edifici pubblici della Capitale sono dei noti architetti Le Corbusier, Lucio Costa e Oscar Niemeyer

<sup>531</sup> *Gomes L.*, 2008, *1808* - Saggio storico divulgativo

<sup>532</sup> *ibidem*

<sup>533</sup> *Galeano E.*, 1996, *Las venas abiertas de America Latina*

<sup>534</sup> *Nieves L., Labanti F.*, 2012, *Brasile: potenza agricola o ambientale?*

tecnologico.<sup>535</sup> Il Brasile possiede il 12% delle risorse mondiali di acqua e si colloca nella classifica mondiale come primo produttore mondiale di caffè e di cellulosa, secondo per etanolo, ferro e bauxite, terzo per la frutta, quinto per i cereali, sesto per i veicoli, settimo per la chimica e ottavo per acciaio e produzione di petrolio; è inoltre il primo esportatore mondiale di carne bovina e pollame, zucchero e succo d'arancia, secondo per la soia e derivati, quarto per la carne suina.<sup>536</sup>

L'aumento del prezzo delle materie prime di questi ultimi anni ha concorso a migliorare le ragioni di scambio del paese, rafforzando le prospettive di crescita e contribuendo all'apprezzamento della moneta.<sup>537</sup> L'Italia occupa la sesta posizione in termini di investimenti diretti da parte dei paesi stranieri, con oltre 2,7 miliardi di dollari nel 2016; da indagini condotte dalla Banca Centrale Brasiliana gli investimenti italiani in questo paese si concentrano tradizionalmente nel settore dei mezzi di trasporto per un 31% e nel settore manifatturiero per il 21%. In anni recenti anche gli investimenti nel settore terziario, in particolare nel settore finanziario, sono cresciuti in maniera rilevante, tuttavia la congiuntura economica attuale, unita alle recenti vicende giudiziarie e alla conseguente crisi istituzionale, potrebbe determinare l'uscita dal paese di investimenti di carattere finanziario rendendo il Brasile meno attrattivo per gli investitori internazionali.<sup>538</sup>

L'Amazzonia, area storicamente marginale nell'economia brasiliana, rappresenta oggi la frontiera economica in cui si investe grazie alle sue enormi potenzialità in termini di risorse naturali, al *boom* delle esportazioni e ai rinnovati accordi politico-economici con gli altri paesi del Sudamerica;<sup>539</sup> tuttavia vi è il rischio concreto che l'ingresso improvviso nel *tritacarne dei mercati globali* e la mancanza di solidi sistemi di controllo porti inevitabilmente alla concentrazione di enormi capitali nelle mani di pochi e all'impoverimento della popolazione rurale e locale, cosa che comunque è già avvenuta.<sup>540</sup>

## 8.2.2. Le questioni ambientali

Il quadro economico descrive un Brasile che si configura come un vera e propria superpotenza del settore agro-industriale;<sup>541</sup> tutto in questo paese sembra smisurato, non solo le immense risorse naturali ma, conseguentemente, anche il loro consumo che è avvenuto per secoli e si stima che questo continuerà negli anni a venire.<sup>542</sup> A misura del fenomeno, anche per dare conto della grandezza dei fattori in gioco, i principali giacimenti minerari di oro, argento, pietre preziose (e di molti altri minerali divenuti poi importanti per l'industria), erano situati prevalentemente in un territorio tanto produttivo da dare il nome ad uno stato denominato *Minas Gerais* ovvero delle Miniere Generali.

Proprio perchè si era nella convinzione che le risorse fossero inesauribili, l'impatto ambientale per estrarre le ricchezze del sottosuolo, insediare coltivazioni estensive e pascoli o fondare nuove città è stato fortemente e volutamente sottovalutato.<sup>543</sup> Se agli albori della colonizzazione l'idea di una paese

<sup>535</sup> Ministero Italiano degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale, 2017, in SITOGRAFIA

<sup>536</sup> *ibidem*

<sup>537</sup> *ibidem*

<sup>538</sup> *ibidem*

<sup>539</sup> Nieves L., Labanti F., 2012, *op. cit.*

<sup>540</sup> Killen T., 2007, A perfect storm in the amazon wilderness

<sup>541</sup> Nieves L., Labanti F., 2012, *op. cit.*

<sup>542</sup> *ibidem*

<sup>543</sup> Nieves L., Labanti F., 2012, *op. cit.*

"senza limiti" poteva anche essere credibile, purtroppo oggi sappiamo che le cose sono leggermente diverse: se lo sviluppo industriale e la crescita demografica hanno portato lavoro e benessere per milioni di persone, il rovescio della medaglia è che tutto questo ha anche provocato impatti e livelli di inquinamento impensabili in passato.

La popolazione odierna del Brasile ha superato i 200 milioni di abitanti e si è concentrata nei centri urbani, soprattutto nelle città che affacciano sulla costa oceanica, con tutto quel che ne consegue, cioè con un radicale e irreversibile stravolgimento di vastissime aree, prima naturali.<sup>544</sup> Nel corso degli ultimi secoli sono stati distrutti interi ecosistemi formati da foreste, praterie, zone umide e corsi d'acqua; si trattava di zone ricchissime di biodiversità, abitate da millenni solo da piccole comunità di *indios* che sono stati cacciati dai loro territori. È stato calcolato che ogni anno, a causa degli incendi finalizzati ad ottenere terra da pascolo o coltivazione, in Brasile scompare un'estensione di aree verdi equivalente alla Svizzera; questo avviene anche allo scopo di vendere legname pregiato e per ricavare aree di espansione per le città e le zone industriali.<sup>545</sup> Dell'originale *mata atlantica*, la tipica foresta pluviale costiera brasiliana ricchissima in termini di biodiversità, si stima sia rimasto meno del 10%; di questo passo il rischio è che alla fine rimarranno solo vasti territori compromessi in maniera irreversibile.

Le questioni ambientali descritte sono una tra le varie ferite aperte nel corpo di un paese che ha la dimensione e le potenzialità di un continente ma che nello stesso tempo porta il fardello di uno sviluppo tardivo e incontrollato; tuttavia ciò che stupisce non è tanto la portata di questi fenomeni, per quanto enormemente estesi, ma la velocità con cui questi si sono verificati nel tempo.<sup>546</sup> Un recente fatto catastrofico, il crollo di due dighe contenenti rifiuti tossici provenienti da operazioni minerarie che ha generato il peggior disastro ambientale della storia del Brasile, è emblematico della situazione di enorme *stress* a cui è sottoposto questo paese.<sup>547</sup> Qualcosa comunque sembra stia cambiando, si sta facendola strada l'idea che è possibile un'inversione di tendenza: ne è la prova, ad esempio, la recente sospensione da parte di un giudice di un decreto del Governo federale che prevedeva lo sfruttamento da parte di imprese minerarie di un'area protetta grande come la Danimarca.<sup>548</sup>

Questo è avvenuto a causa delle fortissime pressioni internazionali ma, va detto, anche grazie ad una grande mobilitazione collettiva interna al paese; comunque, al di là di questi interventi, sono state poche in questi anni, soprattutto da parte dei vari governi centrali, le azioni che hanno cercato concretamente di mettere freno alle grandi emergenze ambientali di questo grande paese.

### 8.2.3. Lo sviluppo dell'agrobusiness

Il settore dell'*agrobusiness* ha avuto un grande impulso grazie alla riduzione degli investimenti di altro tipo dovuta alla recessione economica degli anni '80 e '90 e che è stata ampiamente compensata dalla forte crescita dell'agricoltura e dell'allevamento; grazie allo sviluppo tecnologico e agli ingenti stanziamenti economici che si sono avuti in questo campo, la produzione di alcuni prodotti si è

<sup>544</sup> *ibidem*

<sup>545</sup> Tarquini A., 2017, La Norvegia al Brasile: "Fermate la deforestazione o non vi diamo più soldi"

<sup>546</sup> *cf.* la voce Fundação SOS Mata Atlântica in SITOGRAFIA

<sup>547</sup> D'Orsogna M.R., 2015, Brasile, il più grande disastro ambientale della storia del Paese

<sup>548</sup> Agenzia Reuters, 2017, Brasile: stop al decreto a favore delle miniere

espansa enormemente facendo raggiungere al Brasile posizioni di elevata competitività internazionale.<sup>549</sup> Questi stanziamenti sono partiti dalla metà degli anni '90 con programmi di finanziamento come *Brasil em Acção* (1996-2002) e, qualche anno più tardi, col piano governativo di sviluppo infrastrutturale *Avança Brasil* (2000-2003).<sup>550</sup>

In anni più recenti la svolta economica è stata accompagnata da altri programmi come il *Plano Plurianual* del 2004-2007, il PAC (*Programa de Aceleração do Crescimento*) del 2007-2010 e il PAC 2 del 2011-2014. Gli interventi che ne sono derivati hanno avuto certamente degli effetti positivi portando molti soldi alla ricerca, ma hanno anche riproposto un modello di sviluppo ancorato a logiche quantitative che, in definitiva, hanno avuto scarse ricadute sulle popolazioni locali a differenza invece degli impatti ambientali, sempre rilevanti e spesso non controllati.<sup>551</sup> Inoltre, l'idea di massimizzazione delle rendite che sta alla base di questi strumenti economici implica, se applicata *en plein* al settore agricolo o allevativo, una drastica riduzione della ricchezza naturale disponibile: ecosistemi costruiti in migliaia di anni sono stati trasformati in pascoli spesso sfruttati male o in monoculture inadatte a terreni che si sono impoveriti rapidamente e che hanno quindi richiesto un uso crescente di sostanze chimiche, con l'ulteriore aggravio del danno ambientale e secondo un percorso perversamente circolare secondo il quale, più un terreno produce poco, più si cerca di renderlo fertile artificialmente.<sup>552</sup> Si ritiene che il modo in cui si è praticata l'agricoltura in questo paese descrive e esemplifica il difficile dialogo tra sviluppo e preservazione che si sta osservando in questi anni a livello globale: da un lato lo sfruttamento ambientale, dall'altro il diritto di un paese ad utilizzare le proprie risorse e gestire autonomamente il proprio territorio per crescere e svilupparsi. Tuttavia, nonostante il legittimo diritto allo sviluppo socio-economico, appare evidente che vi sia la necessità di fare un passo indietro e di ripensare ad un percorso che sia più sostenibile, tenendo comunque conto che si devono nutrire le persone.<sup>553</sup>

Il Brasile quindi come paese portatore di grandi problemi socio-ambientali ma anche espressione di grandi attese e potenzialità, laboratorio nel quale poter sperimentare quelle nuove tecnologie per il territorio, l'agricoltura e l'ambiente che potrebbero dare una risposta ad un gran numero di questioni irrisolte; ed è proprio quello che questo lavoro di ricerca vorrebbe suggerire.

### 8.3. Il viaggio studio

Come introdotto, si è avuta l'opportunità di visitare alcune istituzioni brasiliane che si occupano di ricerca scientifica in campo agricolo e allevativo presso alcune università brasiliane e unità operative decentrate di Embrapa, agenzia che agisce sotto l'egida del *Ministério pela Agricultura, Pecuária e Abastecimento*. Embrapa è stata fondata nel 1975 e funziona come il CNR in Italia, con la differenza che è finalizzata alla ricerca su temi quasi esclusivamente agro-tecnici. Il suo presidente viene

<sup>549</sup> Nieves L., Labanti F., 2012, *op. cit.*

<sup>550</sup> *ibidem*

<sup>551</sup> *ibidem*

<sup>552</sup> *ibidem*

<sup>553</sup> *cf.* la Nota 2 sulle logiche della *quantità* contrapposte a quelle della *qualità* sul tema della produzione alimentare

nominato direttamente dal Governo centrale, ed è sempre scelto tra il personale scientifico, cioè è un ricercatore, così come lo sono i direttori generali delle unità decentrate dislocate in tutti i 28 stati della Federazione. Inoltre l'agenzia impiega non solo agronomi o biologi ma pure una molteplicità di laureati in altre discipline come matematica, fisica, ingegneria, informatica, statistica, economia, ecc. e che percepiscono stipendi superiori a quelli dei loro colleghi assunti presso le università statali, federali e private. In questo modo *Embrapa* è in grado di affrontare i problemi nei campi dell'agricoltura e dell'allevamento con specialisti che possono lavorare insieme secondo un approccio che può definirsi prima di ogni altra cosa multidisciplinare.

Quindi, in generale, ciò che caratterizza questa agenzia è un alto livello qualitativo della ricerca e soprattutto il fatto che vi è una stretta collaborazione tra unità di *Embrapa*, università presenti e gli altri enti presenti sul territorio; si ritiene che questo fattore, cioè la *capacità di fare sistema* nella ricerca, insieme ai cospicui finanziamenti e l'approccio multidisciplinare rappresenti l'indiscutibile punto di forza di questa realtà.

### 8.3.1. L'Escola Superior de Agricultura e il Centro Energia Nuclar

Il campus dell'*Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz* (ESALQ) ha un'estensione di oltre 190 ettari e ha sede nella città di Piracicaba situata a 150 km dalla città di São Paulo, capitale dello stato

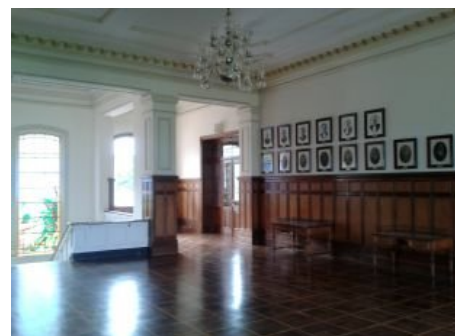


**Figura 100:** Edificio central sede della amministrazione dell'ESALQ (fonte: Autore)

omonimo. Fondata nel 1900 essa rappresenta una delle Facoltà che formarono l'originario nucleo costitutivo della Universidade do Estado de São Paulo (USP), attualmente valutata come una degli migliori università del Sud America. La *Escola* è molto rispettata in Brasile poiché essa forma i migliori agronomi del Paese e gode di un prestigio tale che l'agenzia governativa *Embrapa*, molto selettiva, assume solo laureati usciti da questa Facoltà; gli uffici amministrativi sono ancora situati nel medesimo edificio storico fin dell'epoca della fondazione del campus e la struttura e gli arredi originali sono generalmente

mantenuti ancora in ottimo stato (**Figura 100, Figura 101**). Degno di particolare nota è il museo entomologico dove sono conservate decine di migliaia di esemplari di insetti di interesse agronomico; oltre a questi però, trovandoci in una zona tropicale, è stato ritenuto opportuno conservare anche esemplari di interesse sanitario vista la rilevanza di certe malattie endemiche in questa area geografica (febbre gialla, malaria, ecc.).

Il *Centro Energia Nuclar em Agricultura* (CENA) è ospitato nel medesimo campus dell'ESALQ e al suo interno vi si studiano i possibili impieghi delle ricerche e delle tecnologie nucleari in campo agronomico. In particolare viene valutato l'impiego di radiazioni a bassa intensità prodotte da fonti naturali o artificialmente, ma anche l'utilizzo della risonanza



**Figura 101:** Salone *dos Reitores* (fonte: Autore)



magnetica nucleare (NMR-TAC) applicata a campioni di provenienza animale o vegetale. Inoltre presso questo centro si svolgono studi sulla tracciabilità della carne bovina tramite *attivazione neutronica* e successiva analisi del decadimento radioattivo permettendo ai ricercatori di riscontrare tracce di contaminati oppure la provenienza geografica dei campioni esaminati. Notevole è la presenza di apparecchiature dedicate a questi studi. In generale la ricerca scientifica presso questa istituzione è di livello molto alto anche grazie ai cospicui finanziamenti pubblici garantiti dallo Stato di São Paulo e dal governo federale.<sup>554</sup>

### 8.3.2. Embrapa Instrumentação

Presso la città di São Carlos, sempre nello Stato federale di São Paulo, ha sede l'Unità operativa di *Embrapa Instrumentação*, una vera eccellenza nello sviluppo delle nuove tecnologie per l'agricoltura e l'allevamento; fornisce infatti consulenza tecnico-scientifica e fornisce prototipi di nuovi strumenti e dispositivi alle altre unità operative dell'agenzia sparse in tutto il paese rappresentando un punto di riferimento non solo per il Brasile ma per l'interno contesto della ricerca sud-americana.

Nei vari laboratori visitati si realizzano interessanti sensori che si basano sulle tecnologie più disparate e sul brillante ingegno dei progettisti. Uno dei settori più promettenti è l'impiego dei raggi-x per le analisi di campioni di interesse agronomico come suoli e minerali, o di origine vegetale e animale attraverso lo strumento del *diffrattometro*<sup>555</sup> (Figura 102) o del *tomografo* (Figura 103).<sup>556</sup>



**Figura 102:** diffrattometro a raggi-x  
(fonte: Autore)



**Figura 103:** tomografo a raggi-x da banco  
(fonte: Autore)

Gran parte dei gruppi di ricerca di *Embrapa Instrumentação* sono coinvolti nello sviluppo di dispositivi per l'analisi e il controllo della qualità alimentare, un tema sul quale si è avvertita una forte sensibilità; questo avviene utilizzando strumenti basati su dispositivi di tipo NMR<sup>557</sup> che necessitano di grandi contenitori di elio e azoto liquido necessari al raffreddamento delle apparecchiature. Si tratta in questo caso di apparecchiature molto costose non prodotte in Brasile ma in Europa o negli Stati Uniti ma quello che pare interessante notare è che questi dispositivi, che nascono per utilizzi diversi (ad esempio per il settore medicale), sono stati invece adattati specificatamente da Embrapa per un impiego nella ricerca in campo agricolo a alimentare.

Un altro sistema di notevole interesse è rappresentato dal prototipo di un analizzatore per la qualità degli alimenti denominato Spinlock-MRI che utilizza uno strumento

<sup>554</sup> cfr. il Paragrafo 8.2.3 sui programmi di finanziamento per l'agrobusiness

<sup>555</sup> *diffrattometria a raggi x*: tecnica di analisi che può essere utilizzata per il controllo degli alimenti per individuare i contaminanti fisici e per lo studio delle strutture interne dei prodotti al fine di garantire la qualità

<sup>556</sup> *tomografia*: tecnica spettroscopica mirata alla rappresentazione "a strati" dei campioni che possono essere visualizzati in maniera tridimensionale e che per questo si contrappone ai metodi rappresentativi della radiologia convenzionale la quale restituisce tutto lo spessore del corpo o dell'oggetto sulla superficie bidimensionale della lastra

<sup>557</sup> sulla tecnica della NMR si veda la Nota 223

NMR che è stato dimensionato per un impiego "da banco" (**Figura 104**, **Figura 105**), sviluppato internamente ai laboratori di Embrapa, attraverso il quale è possibile determinare gli spettri di risonanza magnetica caratteristici per ogni genere alimentare. Non è necessario predisporre particolari preparazioni e si possono inserire al suo interno bottiglie di vino, frutta o cibi ancora nella loro confezione; dal confronto con i valori di riferimento di alcuni campioni si possono svolgere controlli della qualità alimentare determinando le sostanze caratterizzanti di un particolare alimento o se sono presenti una vasta tipologia di sostanze contaminanti.

Questo metodo permette inoltre di determinare la provenienza geografica dei prodotti, ottenendo così la loro tracciabilità al fine della prevenzione di eventuali frodi alimentari. Secondo i tecnici di Embrapa è possibile, con adeguati investimenti nello sviluppo, ridurre ancora le dimensioni e costi di questo dispositivo al fine di permetterne una più ampia diffusione, ipoteticamente anche

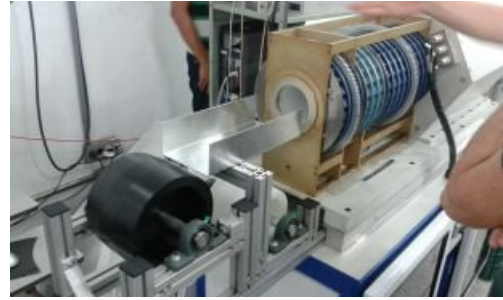


**Figura 106:** prototipo di naso artificiale o olfattimetro (fonte: Autore)

presso la grande distribuzione, cosa che potrebbe costituire una rivoluzione in fatto di sicurezza alimentare. L'unità operativa si avvale inoltre di una officina meccanica dotata di numerosi strumenti per la lavorazione delle parti necessarie alla costruzione di qualsiasi prototipo di strumento.

Fra le varie altre ricerche promettenti svolte presso questo centro si deve citare lo sviluppo di nanomateriali e biopolimeri derivati da prodotti della lavorazione e produzione dell'agroindustria, che invece di finire in discarica possono diventare una materia prima per ottenere manufatti del tutto biodegradabili. Altro campo di studio è quello che riguarda l'impiego del lattice per il quale vengono prodotte e valutate nuove mescole, anche in combinazione con fibre naturali, da proporre come bioplastiche biodegradabili in completa sostituzione dei prodotti derivati dal petrolio.

Presso questa struttura ci si occupa inoltre dello sviluppo di sensori in grado di replicare le funzioni del naso e della lingua umana (olfattimetri e saporimetri)<sup>558</sup> al fine di permettere l'analisi sensoriale automatica degli alimenti, potendo così contribuire al miglioramento qualitativo delle metodologie di controllo dei cibi (**Figura 106**, **Figura 107**).



**Figura 104:** prototipo di NMR "da banco" per l'analisi degli alimenti (fonte: Autore)



**Figura 105:** dettaglio dello strumento nel quale possono essere inseriti direttamente gli alimenti da analizzare (fonte: Autore)



**Figura 107:** prototipo di lingua artificiale o saporimetro (fonte: Autore)

<sup>558</sup> cfr. il Paragrafo 4.4.3 sui composti organici volatili (VOC) e alcune tecniche per la rilevazione dei disturbi delle piante



**Figura 108:** prototipo di mela *dummy* (fonte: Autore)

Tra i numerosissimi altri dispositivi di notevole interesse sviluppati da *Embrapa Instrumentação* vi è anche una finta mela (*dummy*) destinata a viaggiare insieme ad un carico di vera frutta potendo rilevare parametri come temperatura, umidità e accelerazione (**Figura 108**). Questo strumento è in grado di verificare accuratamente le condizioni di trasporto dei prodotti alimentari permettendo di sviluppare migliori soluzioni per il loro *packaging*; i dati prodotti dalla mela *dummy* sono scaricabili tramite porta USB che serve anche per la ricarica della batteria interna.

Nella unità operativa di São Carlos è presente anche un laboratorio di agro-informatica presso il quale vengono sviluppati *ad hoc* internamente all'agenzia software e programmi per il rilevamento dello stato delle coltivazioni; a questo scopo, attraverso l'analisi di immagini aeree o satellitari, vengono realiz-



**Figura 110:** *agro-robot*;  
notare le dimensioni della persona  
(fonte: Autore)

Un'altro campo di indagine alimentare in fase di valutazione presso questi laboratori prevede l'impiego di tecniche spettroscopiche che utilizzano impulsi laser per prima vaporizzare il substrato di una sostanza per poi ionizzarlo al fine della sua analisi ottimale; questa tecnica chiamata LIBS-DP<sup>559</sup> è un'altra metodologia di grand interesse e che permette di utilizzare e analizzare anche solo piccole tracce di campioni e in tempi molto rapidi.<sup>560</sup>



**Figura 109:** base operativa dedicata allo sviluppo dei droni e di macchine agricole ad elevata automazione  
(fonte: Autore)

zate applicazioni che vengono poi messe a disposizione anche degli operatori del settore e che consentono di rilevare anomalie nello stato delle coltivazioni. I rilievi aerei vengono in genere effettuati da droni di varie tipologie e dimensioni; tutti questi mezzi sono ospitati in un'altra base operativa situata a pochi chilometri da quella principale (**Figura 109**). In questo complesso vengono inoltre sviluppati anche diversi prototipi di macchine ad alta automazione (*agro-robot*) capaci di muoversi tra le coltivazioni per eseguire lavorazioni come semina, raccolta, eventuali trattamenti, ecc. (**Figura 110**).

Si tratta di piattaforme di dimensioni notevoli, alcune dotate di un sistema propulsivo autonomo e capaci di adattarsi ai vari terreni; sono presenti diversi prototipi di macchine in grado di effettuare operazioni anche in maniera automatica senza operatore, guidate con precisione da sistemi GPS e sensori. Alcuni di questi mezzi vengono utilizzati anche come banco prova per la valutazione di tutta una

<sup>559</sup> LIBS-DP: Laser Induced Breakdown Spectroscopy-Double Pulse, tecnica spettroscopica che permette un'accurata analisi chimica quantitativa senza la necessità della preparazione di campioni

<sup>560</sup> *Anabitarte F. et al., 2012, Laser-Induced Breakdown Spectroscopy: fundamentals, applications and challenges*

serie di prototipi di accessori specifici per varie coltivazioni o lavorazioni. Sono inoltre ospitati e sviluppati numerosi UAV e UV, una vera collezione di veicoli da quelli a propulsione elettrica multi rotore fino a due mini elicotteri Yamaha RMAX<sup>561</sup> con motore a scoppio, mezzi dai notevoli costi di gestione. Sono presenti anche diversi UAV del tipo a "tutt'ala" in grado di restare in volo per lunghi periodi e che vengono sperimentati per compiti di ricognizione di terreni di grande estensione geografica. Presso il laboratorio di programmazione ubicato sempre in questo complesso, vengono sviluppate in proprio alcune delle elettroniche di controllo di questi mezzi e tutto ciò che riguarda i protocolli di trasmissione dei dati tra i vari dispositivi, oltre che a svolgere una complessa attività di *testing* (Figura 111).

Tutte le dotazioni sono di alto livello: sono presenti i mezzi più recenti, le fotocamere più sofisticate, i sistemi di sensori di ultima generazione, le batterie e accumulatori con più alta capacità e efficienza, a dimostrazione che il Governo Federale brasiliano attribuisce una grande importanza ad Embrapa e alla ricerca in campo agricolo e allevativo



**Figura 111:** laboratorio di sviluppo e sperimentazione delle tecnologie utilizzate negli UV (fonte: Autore)

### 8.3.3. Il sistema agro-silvo-pastorale

Sempre nella città di São Carlos, vicino a *Embrapa Instrumentação*, ha sede anche un'altra unità operativa, la *Gado de corte Sul Este*. In questo centro, oltre allo studio del miglioramento genetico dei bovini, si sperimenta un particolare sistema di coltivazione denominato *Agro-Silvi-Pastoril* cioè agro-silvo-pastorale (Figura 112). Nei prossimi anni è previsto un aumento della richiesta di alimenti di origine animale da parte dei paesi in via di sviluppo, soprattutto carne e latte;<sup>562</sup> per soddisfare questo aumento di domanda di prodotti alimentari non si potrà non tener conto delle problematiche legate alla carenza di risorse naturali (acqua, terra, ecc.), situazione che si sta sempre più estremizzando a livello mondiale. E' evidente che di fronte a questo scenario è necessario sviluppare nuovi modelli di sviluppo, capaci di mettere in atto processi di produzione più sostenibili.

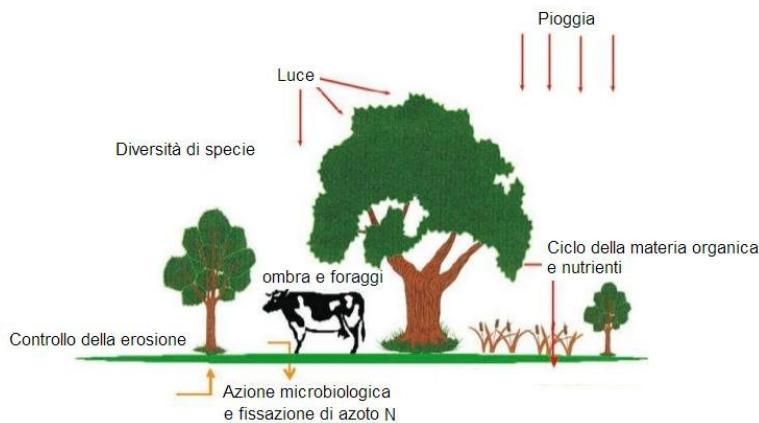
I sistemi integrati agro-silvo-pastorali rispondono a questo bisogno essendo finalizzati alla messa a coltura delle aree forestali e stanno riscuotendo interesse da parte di molti paesi, soprattutto quelli che in passato sono stati oggetto di pesanti



**Figura 112:** bovini a riposo in un'area *Agro-Silvi-Pastoril* (fonte: Autore)

<sup>561</sup> Il Yamaha RMAX è un mini-elicottero a pilotaggio remoto di grandi dimensioni in grado di portare un notevole carico utile che può arrivare fino a 25 kg. Si tratta di una macchina complessa, con grande autonomia, molto costosa e che finora è stata essenzialmente impiegata nell'attività di *spraying* di colture speciali e di alto valore; *cfr.* anche la Nota 389

<sup>562</sup> *cfr.* Figura 116



**Figura 113:** schema di funzionamento di un sistema *Agro-Silvi-Pastoril* (fonte: ANPE - Asociación Nacional de Profesionales de la Enseñanza)

fenomeni di trasformazione dei suoli. Si tratta di sistemi integrati che prevedono la coltivazione, sulla stessa superficie di colture arboree (da legno o da frutto) e di colture erbacee (da granella o foraggiere), con la possibilità di inserire in questo schema anche l'allevamento degli animali in modo da poter sfruttare le risorse foraggiere. Nel sistema *Agro-Silvi-Pastoril* gli animali possono pascolare su prato oppure entrare

liberamente in un bosco dove gli alberi non sono troppo fitti in modo che vi siano zone sufficientemente soleggiate da consentire anche la coltivazione; con questa organizzazione i capi beneficiano di ombra quando occorre pur avendo disponibilità di erba da brucare (**Figura 113**). Gli alberi possono essere a crescita rapida, come pioppi o eucalpti per la produzione di carta, oppure altre specie di interesse agronomico

Deve essere evidenziato che non si tratta di inserire animali o colture in aree forestali ma esattamente il contrario: si tratta cioè di coltivare essenze forestali o da frutto in aree attualmente dedicate esclusivamente al pascolo o alle coltivazioni.<sup>563</sup> Siamo quindi in presenza di un modello di intensivizzazione agricola ma che va letto in chiave sostenibile e che presenta diversi vantaggi rispetto ai sistemi più tradizionali. Il primo è che il terreno è in grado di fornire fino a tre differenti tipologie di reddito: quello derivante dalla vendita del legno o dei frutti, quello derivante dalla vendita delle granelle e quello derivante dalla trasformazione dei foraggi in carne o latte. Il secondo aspetto interessante è che questo metodo risponde alla necessità di esplorare nuovi sistemi in grado di mitigare la produzione dei gas ad effetto serra da parte degli allevamenti migliorando inoltre la capacità di adattamento degli animali ai cambiamenti climatici.<sup>564</sup>

Riguardo inoltre la mitigazione dell'anidride carbonica è noto che gli alberi sono in grado di assorbire quantità importanti di carbonio, sia nella biomassa aerea sia in quella radicale, ed è ben conosciuto il loro ruolo nella protezione del suolo dai fenomeni erosivi. Bisogna aggiungere che in molte aree nelle quali questo sistema integrato è stato adottato, oltre agli effetti di mitigazione si è riscontrato anche un significativo aumento della produttività degli animali da carne. Infine, relativamente al benessere degli animali, nei sistemi integrati viene a crearsi un microclima utile per aiutare gli animali nei periodi di caldo estremo; anche in questo caso è registrabile sia un beneficio diretto sul loro stato di salute che un effetto indiretto sul miglioramento della qualità dei foraggi coltivati nell'ambito di questo sistema.

E' evidente pertanto che, dall'adozione di un sistema integrato di questo tipo, l'allevamento può solo che trarre grandi vantaggi, soprattutto in un momento nel quale il consumo di carne viene fortemente

<sup>563</sup> Mele M., 2015, Sistemi integrati Agro-silvo-pastorali per il miglioramento della sostenibilità delle produzioni animali

<sup>564</sup> *ibidem*

criticato non solo per ragioni etiche e nutrizionali ma anche per motivi di impatto e sostenibilità ambientale.<sup>565</sup>

Riassumendo un sistema agro-silvo-pastorale permette:

- una maggiore sostenibilità ambientale poiché si tratta di un sistema atto a mitigare le emissioni dei gas ad effetto serra;
- un maggiore benessere degli animali da pascolo perchè si tratta di un sistema in grado di aiutarli nei periodi molto caldi, garantendo loro un miglior adattamento agli eventi climatici estremi;
- una migliore qualità nutrizionale delle loro carni visto che è noto l'effetto positivo di un'alimentazione *a pascolo* sulle caratteristiche organolettiche della carne.

Per raggiungere questi obiettivi tuttavia, i sistemi integrati agro-silvo-pastorali hanno la necessità di essere adattati alle condizioni in cui si opera partendo da modelli di riferimento che possano garantire un incremento sostenibile dei processi produttivi; si tratta della dimostrazione che mantenere alta la competitività delle aziende agricole, anche puntando sulla qualità, non è una cosa inconciliabile con l'ambiente.<sup>566</sup>

#### 8.3.4. Il maneggio digitale

Nella capitale dello stato del Mato Grosso do Sul ha sede l'unità operativa di Gado de Corte di Embrapa che si occupa della ricerca zootecnica in particolare sui bovini. In questo centro uno dei temi di interesse è la ricerca di soluzioni per il monitoraggio delle condizioni di salute degli animali mediante la sperimentazione di varie tecnologie, unite ad applicativi sviluppati appositamente per l'allevamento di precisione.

##### ***Il Mangueiro Digital***

Uno dei progetti sui quali si sta svolgendo sperimentazione riguarda un recinto gli animali chiamato *Mangueiro Digital*, cioè maneggio digitale (**Figura 114**). L'idea è quella che gli animali vengono fatti transitare periodicamente in questo spazio e su di loro vengono svolte operazioni di identificazione, pesatura o lo svolgimento di particolari trattamenti (vaccinazioni, ecc.). Ogni esemplare è dotato di un *tag* RFID che consente il suo preciso riconoscimento al passaggio di una speciale struttura in legno; nel transito i bovini calpestano un robusto disco in materiale plastico collocato al suolo e dotato di una cella di carico che permette di rilevare il



**Figura 114:** il *Mangueiro Digital* ovvero il maneggio digitale (fonte: Marcelo Calazans)

<sup>565</sup> Mele M., 2015, *op. cit.*

<sup>566</sup> *ibidem*

loro peso.

Nel maneggio digitale vengono utilizzati anche sensori GPS, collari a radio frequenza, sensori ad ultrasuoni, ecc. tutti collegati tramite tecnologia *wireless*; i vari dati raccolti sono poi trasmessi ad una stazione di rilevamento che monitora costantemente gli spostamenti degli animali per le opportune elaborazioni e dal momento in cui il bestiame esce dal maneggio è possibile ottenere la loro



**Figura 115:** georeferenziazione dal bestiame al pascolo con dati che vengono integrati con quelli provenienti dal maneggio digitale (fonte: Autore)

georeferenziazione in tempo reale (**Figura 115**). Si tratta quindi di un valido sistema che permette di monitorare lo stato di salute degli animali consentendo agli operatori di intervenire nel caso si sviluppino delle patologie o se il bestiame non si sta alimentando correttamente, nel qual caso è possibile modificare in tempo utile la dieta giornaliera dei singoli esemplari.

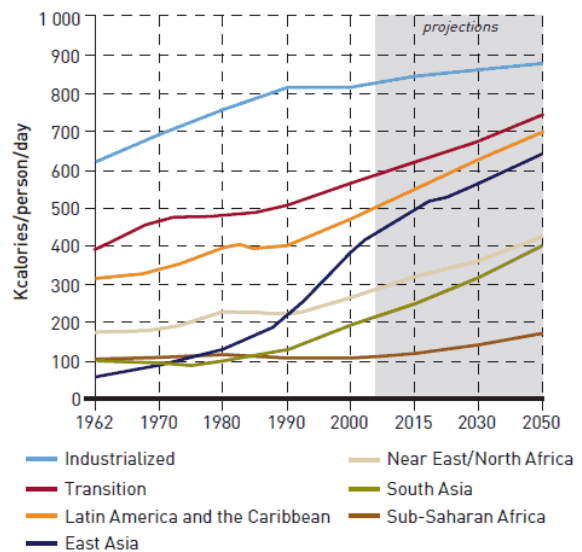
Oltre agli aspetti legati al benessere degli animali questo tipo di monitoraggio ha implicazioni ambientali di più larga portata. Anche se non è uno dei settori dell'economia globale che vengono considerati "trainanti", l'allevamento ha comunque un ruolo economicamente

significativo con impatti sociali ed ambientali rilevanti: rappresenta infatti il 40% del prodotto interno lordo del comparto agricolo, impiega più di un miliardo di persone, produce a livello globale 1/3 del fabbisogno proteico dell'uomo contribuendo, da una parte, a rimediare alle cause della denutrizione ma, dall'altra, è anche causa di molte patologie legate ad una eccessiva o non corretta nutrizione.<sup>567</sup>

Nel mondo sono centinaia di milioni gli animali allevamento con una forte previsione di crescita per i prossimi 30 anni, soprattutto nei paesi asiatici (**Figura 116**);<sup>568</sup> è interessante notare che si tratta di una stima del 2006 e che questa è stata ulteriormente rivista, per difetto, in alcune recenti analisi.<sup>569</sup> Da più parti vi è la preoccupazione riguardo agli effetti derivanti dai gas prodotti da questi animali poiché il metano che generano rappresenta il 18% dei gas serra a livello globale; per fare un paragone ben più di quello emesso dalle auto, dagli aerei e dagli altri sistemi di trasporto messi insieme.<sup>570</sup>

Appare quindi evidente che la produzione dei gas serra sia destinata a crescere drammaticamente nel prossimo futuro e per questa e altre ragioni diversi enti di ricerca internazionali, tra i quali Embrapa, si sono attivati per studiare le possibili azioni

Past and projected food consumption of livestock products



**Figura 116:** stima di crescita del consumo di prodotti derivati dall'allevamento animale (fonte: FAO, 2006, *op. cit.*)

<sup>567</sup> FAO, 2006, Livestock's long shadow

<sup>568</sup> *ibidem*

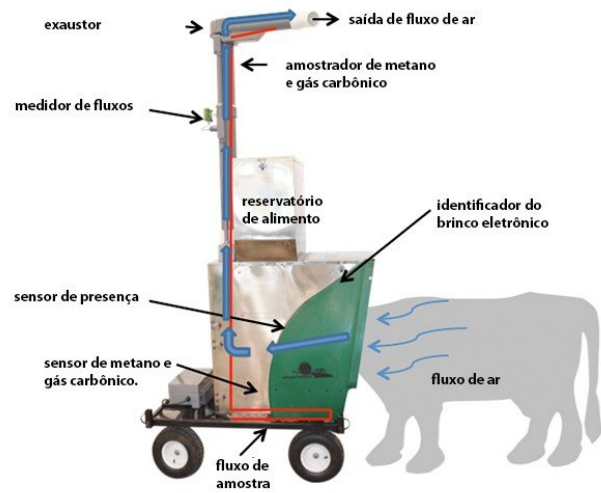
<sup>569</sup> Agenzia France-Presse, 2017, Methane emissions from cattle are 11% higher than estimated

<sup>570</sup> Lean G., 2006, Cow emissions more damaging to planet than CO2 from cars

per contrastare o almeno contenere le emissioni nell'atmosfera di questi gas; il punto di partenza è intervenire sul modo in cui questi animali vengono alimentati ma vi è anche la possibilità che questi possano essere selezionati geneticamente per produrre meno emissioni gassose.<sup>571</sup>

Comunque prima di tutto è stato necessario predisporre un sistema per misurare e quantificare in maniera accurata il metano emesso durante la ruminazione di ogni singolo esemplare; il maneggio digitale rappresenta una possibile risposta a questa esigenza visto che può essere facilmente integrato di sensori in grado di misurare questo fenomeno, dispositivi che andrebbero affiancarsi a quelli descritti precedentemente.<sup>572</sup> La soluzione elaborata è quella di dotare ogni animale che accede ad una postazione dove gli viene fornito il cibo di un *tag* RFID (**Figura 117**), e attraverso un sistema di aspirazione dell'aria, i gas prodotti vengono convogliati verso una serie di sensori in grado di rilevare l'esatta quantità di metano o anidride carbonica emessa durante la ruminazione.

Il *Mangueiro Digital* di Embrapa quindi, così come gli altri progetti che sono stati descritti in questo capitolo, possono essere considerati come prodotti di un contesto di ricerca scientifica e tecnologica non solo attivo e dinamico sulle questioni dell'agricoltura e dell'allevamento, ma anche molto attento e aggiornato alle questioni della sostenibilità ambientale, caratterizzato inoltre dalla multidisciplinarietà e dall'unione delle competenze che provengono da campi molto diversi. Un contesto che potrebbe senz'altro rappresentare il luogo ideale per l'applicazione e la sperimentazione delle idee progettuali proposte nei capitoli precedenti.



**Figura 117:** esempio di un sistema per il monitoraggio dei gas prodotti durante la ruminazione (fonte: Embrapa / C-Lock Inc.)

<sup>571</sup> cfr. Organización de Estados Iberoamericanos, 2011, in SITOGRAFIA

<sup>572</sup> Hammond K. et al., 2016, Review of current in vivo measurement techniques for quantifying enteric methane emission from ruminants



## 9. CONCLUSIONI

L'obiettivo che questo lavoro di ricerca si è prefissato è quello di dimostrare che, attraverso l'uso di tecnologie "intelligenti", è possibile portare agricoltura e allevamento verso la strada di una maggiore efficienza e produttività mantenendosi contemporaneamente su di un cammino di sostenibilità. Attraverso l'analisi di alcune soluzioni disponibili oggi, dei loro limiti operativi ma soprattutto delle loro potenzialità e mantenendo un occhio su quale sarà il loro sviluppo, si è cercato di estendere le tecnologie pensate per le *Smart city* a ciò che sta fuori della città, cioè al territorio che la circonda; questo ponendo attenzione a quanto sta succedendo in campo agricolo e allevativo seguendo, per quanto possibile, un approccio multidisciplinare che ha cercato di mettere insieme ambiti scientifici e tecnologici anche distanti tra loro.

Nell'elaborare le proposte progettuali si sono volute mettere a fuoco alcune questioni riguardanti metodi e tecniche che caratterizzano il campo agricolo e allevativo, evidenziando alcune delle loro criticità, ma cercando soprattutto di comprendere se queste possono essere risolte attraverso l'utilizzo delle nuove tecnologie. Tra queste, partendo dalle reti *wireless* che hanno radicalmente cambiato il modo con il quale oggi si scambiano le informazioni, si è esaminato quali sono le potenzialità degli strumenti che possono essere utilizzati per rilevare e monitorare alcuni fenomeni ambientali, selezionando le soluzioni che si sono ritenute maggiormente utili; si è cercato inoltre di comprendere come questi strumenti si collocano in relazione al paradigma dell'*Internet delle cose* e della sua più recente versione che è quella dell'*Internet di ogni cosa*.

Sono state quindi prese in considerazione alcune ricerche in sviluppo presso l'Università di Padova, ritenendo che questi progetti contengano notevoli potenzialità e rappresentino un punto di partenza sul quale costruire le idee progettuali; dall'esame di questi casi studio si è inoltre compreso che è possibile un diverso modo di fare ricerca e sperimentazione che, come si è visto, può passare attraverso i cittadini consapevoli mettendo in moto meccanismi di partecipazione e consapevolezza. Si è partiti da una di queste ricerche, il progetto *Fertimetro*, per elaborare una proposta di integrazione con alcune soluzioni tecnologiche che potrebbero portare notevoli vantaggi in termini di operatività e funzionamento; sempre restando in campo agricolo, prevedendo l'impiego di droni non pilotati in grado di muoversi autonomamente, si è proposto che questa piattaforma possa essere utilizzata in maniera combinata per l'analisi e il monitoraggio dello stato di salute delle piante. Successivamente, spostandoci nel campo dell'allevamento animale, è stata elaborata una proposta che prevede che gli strumenti utilizzati per monitoraggio degli animali selvatici possano essere applicati sugli esemplari al pascolo, immaginando come questi dispositivi potrebbero far parte di un sistema automatico in grado di verificare il loro stato di salute.

In queste proposte ci si è mossi seguendo un approccio definibile come "integrato", cercando di immaginare un funzionamento *sinergico* e *combinato* dei vari sistemi; proprio a questo fine è stato fatto un certo sforzo nel comprendere quali potrebbero essere i metodi e le tecniche necessarie per permettere a questi dispositivi di operare in maniera autonoma analizzando, per ogni proposta, le fasi che caratterizzano le varie operazioni determinando per ciascun momento il relativo livello di complessità.

In questo lavoro di ricerca si è inoltre valutato quale possa essere l'ambito applicativo ideale di queste proposte realizzando che potrebbero funzionare al meglio in contesti che presentano problematiche di scala ed estensione geografica e dove sia già presente un rete di ricerca scientifica che opera nel campo agricolo e allevativo. Dopo avere individuato nell'ambito del Sudamerica il luogo nel quale questi progetti potrebbero essere applicati, si è svolto un viaggio studio in Brasile, paese caratterizzato dalla complessità delle dinamiche territoriali e dalle forti criticità ambientali, ma anche dalle presenza di una organizzata rete di ricerca nazionale che lavora specificatamente su questi temi; in questo contesto le proposte progettuali hanno suscitato un notevole interesse dimostrando che la loro applicazione e sperimentazione sono possibili.

Alla luce di quanto verificato si ritiene che, con l'impiego di alcuni strumenti innovativi come quelli proposti, l'obiettivo della compatibilità tra sostenibilità e produttività in campo agricolo e allevativo sia quindi perseguibile, oltre che necessario. In questo senso il ruolo che dovranno avere le nuove tecnologie pare essere fondamentale proprio per evitare che in questo percorso si affermino solo logiche contrapposte che vedono i prodotti di origine agricola o animale "di qualità" essere prerogativa *di pochi*, lasciando invece *gli altri* nelle condizioni non solo di non poter scegliere ma forse, un giorno, di non riuscire neppure ad avere accesso alle minime risorse alimentari.

## 10. BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., 2010  
**Data, data everywhere,**  
The Economist, Special Report, 25 febbraio 2010
- AA.VV., 2014  
**Convegno "Agricoltura al bivio? Agroindustria, salute, rispetto dei territori"**  
Ordine dei Medici di Brescia, Comune di Erbusco (BS), 29 novembre 2014
- AA.VV., 2014  
**Convegno "Come cambia la difesa della vite: esperienze in Toscana"**  
Accademia dei Georgofili, Firenze, 25 novembre 2014
- Ackerman S., 2013  
**Drone boosters say farmers, not cops, are the biggest U.S. robot market**  
Wired, 5 febbraio 2013
- Agenzia France-Presse, 2017  
**Methane emissions from cattle are 11% higher than estimated**  
The Guardian, 29 settembre 2017
- Agenzia Reuters, 2017  
**Brasile: stop al decreto a favore delle miniere. L'Amazzonia è salva**  
La Repubblica, 30 agosto 2017
- Akyildiz I., Melodia T., Chowdhury K., 2007  
**A survey on wireless multimedia sensor networks**  
Computer Networks, Volume 51, Issue 4, Pages 921-960, marzo 2007, Elsevier Publishing
- Al-Kaff A., Martin D., Garcia F., de la Escalera A., Armingol J., 2018  
**Survey of computer vision algorithms and applications for unmanned aerial vehicles**  
Expert Systems with Applications, Volume 92, Pages 447-463, febbraio 2018, Elsevier Publishing
- Almaraz R., Troncoso R., Gonzalez R., Medina L., Serrano R., Rios R., Galvan C., Alcaraz M., Pacheco I., 2010  
**FPGA-based fused smart sensor for real-time plant-transpiration dynamic estimation**  
Sensors, Volume 10, Issue 9, Pages 8316-31, MDPI Publishing
- Anabitarte F., Cobo A, Higuera J., 2012  
**Laser-Induced Breakdown Spectroscopy: fundamentals, applications and challenges**  
ISRN Spectroscopy 2012, Hindawi Publishing
- Anderson C., 2014  
**Relatively cheap drones with advanced sensors and imaging capabilities are giving farmers new ways to increase yields and reduce crop damage**  
MIT Technology Review, maggio/giugno 2014
- André, H., Ducarme X., Anderson J., Crossley D., Koehler H., Paoletti M., Walter D., Lebrun P., 2011  
**Skilled eyes are needed to study soil's richness**  
Volume 409, Number 6822, Pages 745-964, 15 febbraio 2001
- Astolfi S., 2014  
**Corso in Biochimica dei suoli forestali e nutrizione delle piante**  
Università degli Studi della Tuscia
- Bailey D., Rittenhouse L., Hart R., Richards R., 1989  
**Characteristics of spatial memory in cattle**  
Applied Animal behavior Science Journal, Volume 23, Issue 4, Pages 331-340, luglio 1989, Elsevier Publishing
- Baker C., Vespe M., Jones G., 2007  
**Target classification by echo locating animals**  
IEEE International Waveform Diversity & Design Conference, Pisa, 4-8 giugno 2007
- Baratchi M., Meratnia N., Havinga P., Skidmore A., Toxopeus B., 2013  
**Sensing solutions for collecting spatio-temporal data for wildlife monitoring applications**  
Sensors, Volume 13, Issue 5, Pages 6054-88, MDPI Publishing
- Belsky J., Gelbard J., 2000  
**Livestock grazing and weed invasions in the arid west**  
Oregon Natural Desert Association
- Bennett W., 1993  
**Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants**  
Amer Phytopathological Society Publisher
- Blumstein D, Mennill D., Clemins P., Girod L., Yao K., Patricelli G., Deppe J., Krakauer A., Clark C., Cortopassi K., Hanser S., McCowan B., Ali A., Kirsche A., 2011  
**Acoustic monitoring in terrestrial environments using microphone arrays**  
Journal of Applied Ecology, Volume 48, Issue 3, Pages 758-767, British Ecological Society Publishing
- Bonomi A., 1997  
**Il capitalismo molecolare. La società al lavoro nel Nord Italia**  
Einaudi Editore
- Bonomi A., 2013  
**Il capitalismo in-finito. Indagine sui territori della crisi**  
Einaudi Editore
- Bonomi A., Masiero R., 2014  
**Dalla smart city alla smart land**  
Marsilio Editore
- Borga G., 2010  
**City Sensing**  
Dottorato in Nuove tecnologie per il territorio, la città e l'ambiente, IUAV Venezia
- Canesi A., Grosso D., 2015  
**Esperienze di spettrofotometria per la scuola con Arduino**  
101° congresso Società Italiana di Fisica, Roma, 21-25 settembre 2015
- Cerroni A., Simonella Z., 2014  
**Sociologia della scienza**  
Carocci Editore

- Collins G., Petersen S., Carr C., Pieslstick L., 2014  
**Testing VHF/GPS collar design and safety in the study of free-roaming horses**  
PLOS One, Volume 9, Issue 9, Public Library of Science Publishing
- Consiglio delle Comunità Europee, 1991  
**Direttiva 91/676/CEE**  
Gazzetta Ufficiale delle Comunità europee n. L 375 del 31 dicembre 1991
- Concheri G, Tiozzo S., Stevanato P., Squartini A., 2017  
**The nutrient-primed incremented substrate degradation principle. A novel method and an automated tool to assess and correct agricultural soil deficiencies to optimize its fertility and crop productivity**  
Applied Soil Ecology, luglio 2017, Elsevier Publishing
- Corrella R., Harcha B., Kirkby C., O'Brienc K., Pankhurst C., 1997  
**Statistical analysis of reduction in tensile strength of cotton strips as a measure of soil microbial activity, Journal of Microbiology**  
Volume 31, Issues 1-2, 1 December 1997, Pages 9-17, Elsevier Publishing
- Costello L., Perry E., Matheny N., Herry M., Geisel P., 2003  
**Abiotic disorders of landscape plants. A diagnostic guide**  
University of California Publishing
- Cugnasca C., Saraiva A., Naas I., Ceschini G., 2008  
**Ad hoc Wireless Sensor Networks applied to animal welfare research**  
Proceedings of the VIII Conference on Livestock Environment, Cascate di Iguazú (Brasile), 4 settembre 2008
- Denaro D., 2017  
**RandA. Raspberry Pi + Arduino**  
Edizioni Futura Group
- Doran J., Parkin T., 1994  
**Defining and assessing soil quality**  
Defining Soil Quality for a Sustainable Environment, SSSA Special Publication 35, Pages 1-21, Soil Science Society of America Publication
- D'Orsogna M.R., 2015  
**Brasile, il più grande disastro ambientale della storia del Paese**  
Il Fatto Quotidiano, 23 novembre 2015
- Efron S., 2015  
**Use of unmanned aerial systems for agriculture in Africa**  
Rand Corporation Publishing
- Ellen R., Peter R., Duncan G., 2005  
**An investigation into the next generation avionics architecture for the QUT UAV project**  
Smart Systems 2005 Postgraduate Research Conference, Queensland University of Technology, Brisbane (Australia), 15 dicembre 2005
- FAO, Food and Agriculture Organization, 2006  
**Livestock's long shadow. Environmental issues and options**  
FAO Publishing
- Fitzhugh H., Hodgson H., Scoville O., Nguyen T., Byerly T., 1978  
**The role of ruminants in support of man**  
Winrock International Livestock Research and Training Center
- Flagler R., 1998  
**Recognition of Air Pollution Injury to Vegetation: A Pictorial Atlas**  
Air & Waste Management Association
- Galeano E., 1996  
**Las venas abiertas de America Latina**  
Siglo XXI De España Editores, S.A.
- Garcia L., Lunadei L., Barreiro P., Robla J., 2009  
**A review of wireless sensor technologies and applications in agriculture and food industry: state of the art and current trends**  
Sensors, Volume 9, Issue 6, Pages 4728-50, MDPI Publishing
- Ge S., Cui Y., 2002  
**Dynamic motion planning for mobile robots using potential field method**  
Autonomous Robots, Volume 13, Issue 3, Pages 207-222, Springer Publishing
- Ghaffari R., Zhang F., Iliescu D., Hines E., Leeson M., Napier R., 2011  
**Detection of diseases and volatile discrimination of plants: an electronic nose and self-organizing maps approach**  
in Intelligent Systems for Machine Olfaction: Tools and Methodologies, IGI Global Publishing
- Giandon P., Bortolami P., 2007  
**L'interpretazione delle analisi del terreno**  
Arpav Veneto, Regione del Veneto editore
- Giannitsis A., 2011  
**Microfabrication of biomedical lab-on-chip devices. A review**  
Estonian Journal of Engineering, Volume 17, Issue 2, Pages 109-139, Estonian Academy Publishers
- Gibson J., Pitchay D., Williams-Rhodes A., Whipker B., Nelson P., 2007  
**Nutrient deficiencies in bedding plants: a pictorial guide for identification and correction**  
Chicago Review Press
- Goense D., Thelen J., Langendoen K., 2005  
**Wireless sensor networks for precise phytophthora decision support**  
Proceedings of 5th European Conference on Precision Agriculture, Uppsala (Svezia), 9-12 giugno 2005
- Gomes L., 2008  
**1808 - Saggio storico divulgativo**  
Editore Planeta
- Greenwood F., 2016  
**Drones on the horizon: new frontier in agricultural innovation**  
ICT Update, Issue 82, 18 aprile 2016, Technical Centre for Rural and Agricultural Cooperation Publisher
- Guerrini F., 2015  
**The future of agriculture? Smart farming**  
Forbes Tech, 18 febbraio 2015
- Hammond K., Crompton L., Bannink A., Dijkstra J., Yanez-Ruiz D., O'Kiely P., Kebreab E., Eugene M., Yu Z., Shingfield K., Schwarm A., Hristov A., Reynolds C., 2016  
**Review of current in vivo measurement techniques for quantifying enteric methane emission from ruminants**  
Animal Feed Science and Technology, Volume 219, settembre 2016, Pages 13-30, Elsevier Publishing

- Harvey F., 2014  
**Robot farmers are the future of agriculture, says government**  
The Guardian, 9 gennaio 2014
- Holecheck J., Pieper R., Herbel C., 1995  
**Range management: principles and practices**  
Pearson Publishing
- Hornung A., Wurm K., Bennewitz M., Burgard W., 2013  
**OctoMap: An efficient probabilistic 3D mapping framework based on octrees**  
Autonomous Robots, Volume 34, Issue 3, aprile 2013, Pages 189-206, Springer Publishing
- Iandelli N., 2011  
**Microdispositivi per Informazione Territoriale e Ambientale**  
Dottorato in Nuove tecnologie per il territorio, la città e l'ambiente, IUAV Venezia
- Inagaki K., 2015  
**Yamaha aims to unlock US and EU markets with agricultural drone**  
Financial Times, 5 luglio 2015
- Infantino A., Faggioli F., Ferretti L., Loreti S., Tomassoli L., Haegi A., 2010  
**Tecniche di diagnosi innovative per i principali patogeni delle specie ornamentali**  
Italus Hortus, Review 12, numero 4, Pages 57-70, Società di Ortoflorofruitticoltura Italiana Editore
- Iozzio C., 2014  
**Robots that can sniff out crop disease**  
Smithsonian Magazine, 13 giugno 2014
- Irwin A., 1995  
**Citizen Science: a study of people, expertise and sustainable development**  
Routledge Publishing
- Jeanneret C., 2016  
**Making sense of drone regulations**  
ICT Update, Issue 82, 18 aprile 2016, Technical Centre for Rural and Agricultural Cooperation Publisher
- Kanellakis C., Nikolakopoulos G., 2017  
**Survey on computer vision for UAVs. Current developments and trends**  
Journal of Intelligent & Robotic Systems, Volume 87, Issue 1, pp 141-168, Springer Publishing
- Kennelly M., O'Mara J., Rivard C., Miller L., Smith D., 2012  
**Introduction to abiotic disorders in plants**  
The Plant Health Instructor, gennaio 2012, The American Phytopathological Society Publishing
- Killen T., 2007  
**A perfect storm in the amazon wilderness**  
Advances in Applied Biodiversity Science, Numero 7, Conservation International Publishing
- Klapperich C., 2009  
**Microfluidic diagnostics: time for industry standards**  
Expert Review of Medical Devices, Volume 6, Issue 3, Informa plc Publishing
- Lamprey H., 1963  
**Ecological separation of the large mammal species**  
African Journal of Ecology, Volume 1, Issue 1, Pages 1-131, agosto 1963, Wiley & Sons Publishing
- Le Q., 2016  
**A bird's eye view on Africa's rice irrigation systems**  
ICT Update, Issue 82, 18 aprile 2016, Technical Centre for Rural and Agricultural Cooperation Publisher
- Lean G., 2006  
**Cow emissions more damaging to planet than CO2 from cars**  
The Independent, 10 dicembre 2006
- Leaner P., 1992  
**Sampling methods in behavior research**  
Poultry Science, Volume 71, Issue 4, Pages 643-649, Poultry Science Association Publishing
- Lemanceau P., Maron P., Mazurier S., Mougel C., Pivato B., Plassart P., Ranjard L., Revellin C., Tardy V., Wipf D., 2015  
**Understanding and managing soil biodiversity: a major challenge in agroecology**  
Agronomy for Sustainable Development, Volume 35, Issue 1, Pages 67-81, Springer Publishing
- Liu H., Bolic M., Nayak A., Stojmenovic I., 2007  
**Integration of RFID and Wireless Sensor Networks**  
Proceedings of Sense ID 2007 Workshop at ACN SenSys, Sydney, Australia, 6-9 novembre 2007.
- Lukkien J., Siegemund F., Verhoeven R., Bosman R., Gomez L., Hellenschmidt M., 2007  
**The WASP Architecture for Wireless Sensor Networks**  
Constructing Ambient Intelligence, Pages 430-447, Springer Publishing
- MacArthur R., Pianka E., 1966  
**On optimal use of a patchy environment**  
The American Naturalist, Vol. 100, Numero 916, novembre-dicembre 1966, Pages 603-609, The University of Chicago Press
- Mahlein A., Steiner U., Hillnhutter C., Dehne H., Oerke E., 2012  
**Hyperspectral imaging for small-scale analysis of symptoms caused by different sugar beet diseases**  
Plant Methods, Volume 8, Issue 3, BioMed Central Ltd. Publishing
- Maiani F., 2016  
**Applicazioni e limiti della classificazione di immagini con reti neurali convoluzionali in dispositivi mobili**  
Tesi di Laurea del Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Informatica, Università agli Studi di Padova
- Maini R., Aggarwal H., 2009  
**Study and comparison of various image edge detection techniques**  
International Journal of Image Processing, Volume 3, Issue 1, Pages 1-11, CSC Publishing
- Mainwaring A., Culler D., Polastre J., Szewczyk R., Anderson J., 2002  
**Wireless Sensor Networks for habitat monitoring**  
Proceedings of the 1st International workshop on Wireless sensor networks and applications, Association for Computing Machinery, Atlanta (USA), 28 settembre 2002
- Martinelli F., Scalenghe R., Davino S., Panno S., Scuderi G., Ruisi P., Villa P., Stroppiana D., Boschetti M., Goulart L., Davis C., Dandekar A., 2015  
**Advanced methods of plant disease detection. A review**  
Agronomy for Sustainable Development, Volume 35, Issue 1, Pages 1-25, Springer Publishing
- Mayer K., Ellis K., Taylor K., 2004  
**Cattle health monitoring using wireless sensor networks**

- 2nd International Conference on communication and computer networks, Cambridge (USA), 8-10 novembre 2004
- Mele M.*, 2015  
**Sistemi integrati Agro-silvo-pastorali per il miglioramento della sostenibilità delle produzioni animali**  
Associazione Italiana AgroForestazione, 6 novembre 2015
- Meng Y., Lee Y.*, 2010  
**Investigation of foliage effect on modern wireless communication systems**  
Progress in Electromagnetics Research, Vol. 105, pp. 313-332, EMW Publishing
- Miraz M., Ali M., Excell P., Picking R.*, 2015  
**A Review on Internet of Things (IoT), Internet of Everything (IoE) and Internet of Nano Things (IoNT)**  
Fifth IEEE Conference on Internet technologies and applications, Wrexham (UK), 8-11 settembre 2015
- Morelli B.*, 2013  
**Internet Connected Devices: Evolving from the "Internet of Things" to the "Internet of Everything"**  
Semiconductor Equipment and Materials International Forum, Austin (USA), 30 ottobre 2013
- Nadimi E., Sogaard H., Bak T., Oudshoorn F.*, 2008  
**ZigBee-based wireless sensor networks for monitoring animal presence and pasture time in a strip of new grass**  
Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 61, Pages 79-87, Elsevier Publishing
- Nagl L., Schmitz R., Warren S., Hildreth T., Erickson H., Andresen D.*, 2003  
**Wearable sensor system for wireless state-of-health determination in cattle**  
Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE, EMBS Conference, Cancun (Messico), 17-21 settembre 2003
- Nagpurkar A., Jaiswal S.*, 2015  
**An overview of WSN and RFID network integration**  
2nd International Conference on Electronics and Communication Systems, Coimbatore (India), 26 - 27 febbraio 2015
- Nakamura M., Nakamura J., Lopez G., Shuzo M., Yamada I.*, 2011  
**Collaborative processing of wearable and ambient sensor system for blood pressure monitoring**  
Sensors, Volume 11, Issue 7, Pages 6760-6770, MDPI Publishing
- Nathan R.*, 2008  
**An emerging movement ecology paradigm**  
Proceedings of the National Academy of Sciences, Volume 105, Issue 49, Pages 19050-19051, National Academy of Sciences Publishing
- Nieuwenhuisen M., Droeschel D., Beul M., Behnke S.*, 2016  
**Autonomous navigation for micro aerial vehicles in complex environments**  
Journal of Intelligent & Robotic Systems, Volume 84, Issue 1-4, pp 199-216, Springer Publishing
- Nieves L., Labanti F.*, 2012  
**Brasile: potenza agricola o ambientale?**  
Cartografare il presente, Università di Bologna, 7 giugno 2012
- Nonami K., Kendou F., Suzuki S., Wang W., Nakazawa D.*, 2010  
**Autonomous flying robots. Unmanned aerial vehicles and micro aerial vehicles**  
Springer Publishing
- Olufemi A., Oluwole F., Olajide O.*, 2013  
**UHF band radio wave propagation mechanism in forested environments for wireless communication systems**  
Journal of Information Engineering and Applications, Vol. 3, No. 7, IISTE Publishing
- Oxford English Dictionary*, 2014  
**List of New Words**  
Oxford University Press
- Pajares G.*, 2011  
**Advances in Sensors Applied to Agriculture and Forestry**  
Sensors, Volume 11, Issue 9, Pages 8930-8932, MDPI Publishing
- Pajares G.*, 2012  
**Sensors in collaboration increase individual potentialities**  
Sensors, Volume 12, Issue 12, Pages 4892-4896, MDPI Publishing
- Picchio S.*, 2014  
**Approccio down-sensing per l'osservazione del territorio: dal satellite al drone**  
uPDrones! Workshop sull'uso dei droni e delle tecnologie innovative per l'impiego territoriale, Agripolis (Padova), 13 novembre 2014
- Picchio S.*, 2015  
**Territorio, cibo e salute**  
Dottorato in Nuove tecnologie per il territorio, la città e l'ambiente, IUAV Venezia
- Puzone V.*, 2014  
**Agricoltura, quantità o qualità? Quale alimentazione nel prossimo futuro?**  
Rural Hub.it, 21 febbraio 2014
- Radovic M., Adarkwa O., Wang Q.*, 2017  
**Object recognition in aerial images using convolutional neural networks**  
Journal of Imaging, Volume 3, Issue 2, MDPI Publishing
- Razaak M., Martini M.*, 2014  
**Rate-distortion and rate-quality performance analysis of HVEC compression of medical ultrasound videos**  
Procedia Computer Science, Volume 40, Pages 230-236, Elsevier Publishing
- Regione del Veneto*, 2015  
**PSR - Piano di Sviluppo Rurale del Veneto 2014-2020, Parte 1 - Valutazione Ex-ante**  
Regione del Veneto Editore
- Riesch H., Potter C.*, 2014  
**Citizen science as seen by scientists: methodological, epistemological and ethical dimensions**  
Public Understanding of Science, Volume 23, Issue 1, Pages 107-120, SAGE Publications
- Romeo F.*, 2014  
**Analisi del fenomeno dei Big data**  
Tesi di Laurea del Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria
- Ronchi E.*, 2017  
**Circular economy come pilastro di una green economy**  
Huffington Post, 13 ottobre 2017
- Sahoo P., Hwang I.*, 2011  
**Collaborative localization algorithms for Wireless Sensor Networks with reduced localization**  
Sensors, Volume 11, Issue 10, Pages 9989-10009, MDPI Publishing

- Sankarana S., Mishra A., Ehsani R., Davis C.*, 2010  
**A review of advanced techniques for detecting plant diseases**  
Computers and Electronics in Agriculture, Volume 72, Issue 1, Pages 1-13, Elsevier Publishing
- SAS Institute*, 2009  
**Driven by Data: The Importance of Building a Culture of Fact-Based Decision-Making**  
McGraw-Hill
- Secchi B.*, 2013  
**La città dei ricchi e la città dei poveri**  
Laterza Editore
- Sindhuja R., Krithiga B.*, 2017  
**Soil nutrient identification using Arduino**  
Asian Journal of Applied Science and Technology, Volume 1, Issue 4, Pages 40-42, AJAST Publishing
- Smith P., House J., Bustamante M., Sobocka J., Harper R., Pan G., West P., Clark J., Adhya T., Rumpel C., Paustian K., Kuikman P., Cotrufo M., Elliott J., McDowell R., Griffiths R., Asakawa S., Bondeau A., Jain A., Meersmans J., Pugh T.*, 2015  
**Global change pressures on soils from land use and management**  
Volume 22, Issue 3, Pages 1008-1028, John Wiley & Sons Publishing
- Smouse P., Focardi S., Moorcroft P., Kie J., Forester J., Morales J.*, 2010  
**Stochastic modelling of animal movement**  
Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences, Volume 365, Issue 1550, Pages 2201-2211, The Royal Society Publishing
- Stevanato P., Bertaglia M., Stellin F., Rizzi V., Piffanelli P., Angelini E., Bertazzon N., Fornasier F., Squartini A., Saccomani M., Concheri G.*, 2014  
**Soil biological and biochemical traits linked to nutritional status in grapevine**  
Journal of soil science and plant nutrition, Volume 14, Issue 2, Pages 421-432, Publicación de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo
- Stolovitzky G.*, 2017  
**Medical labs "on a chip" will serve as health detectives for tracing disease at the nanoscale**  
IBM Research, 5 gennaio 2017
- Stuth J.*, 1991  
**Foraging behavior**  
Grazing management: an ecological perspective, Timber Press
- Szeliski R.*, 2011  
**Computer Vision. Algorithms and applications**  
Springer Publishing
- Tarquini A.*, 2017  
**La Norvegia al Brasile: "Fermate la deforestazione o non vi diamo più soldi"**  
La Repubblica, 23 giugno 2017
- Thorup K., Holland R.*, 2009  
**The bird GPS - Long-range navigation in migrants**  
The Journal of Experimental Biology, Volume 212, The Company of Biologists Publishing
- Tobe F.*, 2014  
**The ultimate guide to agricultural robotics**  
Robotics Business Review, 17 novembre 2014
- Tobe F.*, 2014  
**Will agricultural robots arrive in time to keep fruit and vegetable costs down?**  
The Robot Report, 10 luglio 2014
- Turner L., Udal M., Larson B., Shearer S.*, 2000  
**Monitoring cattle behavior and pasture use with GPS and GIS**  
Canadian Journal of animal science, Volume 80, Issue 3, Pages 405-413, Canadian Science Publisher
- Tushev N., Ellis C.*, 2016  
**Documenting illegal land occupancy from the air**  
ICT Update, Issue 82, 18 aprile 2016, Technical Centre for Rural and Agricultural Cooperation Publisher
- Vavra M., Ganskopp D.*, 1998  
**Grazing behavior in ungulates: current concepts and future challenges**  
Annals of arid zone, Volume 37, Issue 3, Pages 319-335, Oregon State University Publishing
- Vavra M.*, 1996  
**Sustainability of animal production systems: an ecological perspective**  
Journal of Animal Science, Volume 74, Issue 6, Pages 1418-1423, Oxford Academic Publishing
- Veneto Agricoltura*, 2012  
**L'innovazione nelle imprese agricole, usi nuovi della conoscenza**  
Veneto Agricoltura Editore
- Voth K.*, 2010  
**Cows eat weeds - Hot to turn your cows into weed managers**  
Livestock for Landscapes Publishing
- Walker J.*, 1995  
**Grazing management and research now and in the next millenium**  
Journal of Range Management, Volume 48, Issue 4, 1995, Society for Range Management Publishing
- Wallace L., Lucieer A., Watson C.*, 2012  
**Assessing the feasibility of UAV-based LIDAR for high resolution forest change detection**  
Proceedings of the XXII International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Congress, Melbourne (Australia), 25 agosto - 1 settembre 2012
- Westoby M.*, 1986  
**Mechanism influencing grazing success for livestock and wild herbivores**  
The American Naturalist, Volume 128, Issue 6, Pages 940-941, The University of Chicago Publishing
- Wilson A., Baietto M.*, 2009  
**Applications and Advances in Electronic-Nose Technologies**  
Sensors, Volume 9, Issue 7, Pages 5099-5148, MDPI Publishing
- Zhang Q.*, 2015  
**Precision agriculture technology for crop farming**  
CRC Press Publishing
- Zia H., Harris N., Merrett G., Rivers M., Coles N.*, 2013  
**The impact of agricultural activities on water quality**  
Computers and Electronics in Agriculture, Volume 96, Pages 126-138, Elsevier Publishing

(pagina bianca)



## 11. SITOGRAFIA

AgProfessional

**Yamaha RMAX debuts commercial spray service on vineyar**

<http://www.agprofessional.com/article/yamaha-rmax-debuts-commercial-spray-service-vineyard> (consultato il 01/12/2017)

Ardupilot

**Piattaforma APM Arducopter**

<http://ardupilot.com>  
(consultato il 02/04/2018)

AzoNano

**What is a Lab-on-a-Chip?**

<http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=3081>  
(consultato il 02/04/2018)

Christmas Bird Count

**History of Audubon and Science-based Bird Conservation**

<http://www.audubon.org/content/history-audubon-and-waterbird-conservation> (consultato il 01/02/2018)

Einstein@home Project

<http://einsteinathome.org> (consultato il 01/02/2018)

Fundação SOS Mata Atlântica

**Desmatamento da Mata Atlântica cresce quase 60% em um ano**

<http://www.sosma.org.br/106279/desmatamento-da-mata-atlantica-cresce-quase-60-em-um-ano/> (consultato il 01/02/2018)

Galaxy Zoo Project

<http://galaxyzoo.org> (consultato il 01/02/2018)

Grand View Research Inc.

**Agriculture drone market to reach \$2 billion by 2022**

<http://www.grandviewresearch.com/press-release/commercial-drone-market> (consultato il 01/02/2018)

JARUS Group

**Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems**

<http://jarus-rpas.org> (consultato il 01/02/2018)

Laboratorio Agrochimico della Regione Piemonte

**Vademecum sull'analisi del terreno, Domande e risposte**

[http://www.regione.piemonte.it/agri/area\\_tecnico\\_scientifica/setto\\_re\\_fitosanitario/agrochimico/dom\\_risp.htm](http://www.regione.piemonte.it/agri/area_tecnico_scientifica/setto_re_fitosanitario/agrochimico/dom_risp.htm)  
(consultato il 01/02/2018)

Milkyway@home Project

<http://milkyway.cs.rpi.edu> (consultato il 01/02/2018)

Ministero Italiano degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale

**InfoMercatiEsteri, scheda sul Brasile**

[http://www.infomercatiesteri.it/paese.php?id\\_paesi=38](http://www.infomercatiesteri.it/paese.php?id_paesi=38)  
(consultato il 12/10/2017)

Nasa Earth Observatory

**Remote sensing: introduction and history**

<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/RemoteSensing/>  
(consultato il 08/02/2018)

Nvidia Corp.

**Artificial Intelligence Computing Model, From gaming to AI computing**

<http://www.nvidia.com/object/ai-computing.html>  
(consultato il 01/02/2018)

Lotek Inc.

**Lotek Satellite/GPS Products**

<http://www.lotek.com/satellite.htm> (consultato il 01/02/2018)

OPAL Project

**Open Air Laboratories Project**

<http://www.opalexplornature.org> (consultato il 01/02/2018)

Organización de Estados Iberoamericanos

**Reducen la producción de metano en los rumiantes mediante la adición de aceites vegetales en la dieta**

[http://www.oei.es/historico/divulgacioncientifica/noticias\\_049.htm](http://www.oei.es/historico/divulgacioncientifica/noticias_049.htm)  
(consultato il 12/10/2017)

Pixhawk Project

<http://pixhawk.org> (consultato il 01/02/2018)

Planet Hunters Project

<http://planethunters.com> (consultato il 01/02/2018)

Portale Global Environment Outlook

<http://www.unep.org/geo> (consultato il 01/02/2018)

Portale UNEP Live

**United Nations Environment Programme**

<http://environmentlive.unep.org/> (consultato il 01/02/2018)

Progetto Fertimetro, Università di Padova

**A method and device for assessing the level of microbial activity of soil, International patent PCT WO2012/140523/A1:**

[http://www.feedingknowledge.net/02-search/-/bsdp/6008/en\\_GB](http://www.feedingknowledge.net/02-search/-/bsdp/6008/en_GB)  
(consultato il 01/02/2018)

Progetto Sensuolo, Università di Padova

**Sensuolo ESF Project, Report**

<http://www.dafnae.unipd.it/ricerca/progetti-di-ricerca/progetto-fse-sensuolo> (consultato il 01/02/2018)

Qualcomm Inc.

**Robotics reasearch project: Achieving autonomy and seamless cellular connectivity**

<http://www.qualcomm.com/invention/research/projects/robotics>  
(consultato il 01/12/2017)

SAGA Project

**Swarm Robotics for Agricultural Applications, European Clearing House for Open Robotics Development**

<http://echord.eu/saga/> (consultato il 01/02/2018)

Seti@home Project

<http://setiathome.ssl.berkeley.edu> (consultato il 01/12/2017)

Pioneer Hi-Bred Italia

**Guida rapida al campionamento dei terreni**

<http://www.agronomico.com/Servizi/analisielsuolo/tabid/191/Default.aspx> (consultato il 01/12/2017)

Socientize Project

<http://socientize.eu> (consultato il 01/12/2017)

Yamaha Motor Corp.

**Yamaha Remotely Piloted Helicopters**

<http://www.yamahamotorsports.com/motorsports/pages/precision-agriculture> (consultato il 01/12/2017)

Unisky

**Classificazione di immagini telerilevate**

<http://www.unisky.it/it/servizi/classificazione-immagini-telerilevate> (consultato il 07/02/2018)

(pagina bianca)

## 12. ICONOGRAFIA

- Figura 1:** Mudchute City Farm  
London city farm Mudchute Park and Farm  
<http://www.mudchute.org/> (consultato il 22/02/2018)
- Figura 2:** European Commission  
Green growth and circular economy  
[http://ec.europa.eu/environment/green-growth/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/green-growth/index_en.htm)  
(consultato il 22/02/2018)
- Figura 3:** *cfr. Zia H. et al., 2013, in BIBLIOGRAFIA*
- Figura 4:** *cfr. Astolfi S., 2014, in BIBLIOGRAFIA*
- Figura 5:** *ibidem*
- Figura 6:** LaboConsult srl  
<http://www.laboconsult.it/azienda.html>
- Figura 7:** Pioneer Hi-Bred Italia  
Guida rapida al campionamento dei terreni  
<http://www.agronomico.com/Servizi/analisielsuolo/tabid/191/Default.aspx> (consultato il 01/12/2017)
- Figura 8:** *ibidem*
- Figura 9 - 24:** *cfr. Kennelly M., et al., 2012, in BIBLIOGRAFIA*
- Figura 25:** Associazione Coldiretti  
Allevamento e benessere animale  
<http://www.coldiretti.it/category/allevamento-e-benessere-animale>  
(consultato il 07/02/2018)
- Figura 26:** Veterinarian Science UK  
Introduction to Optimal Foraging Theory  
<http://vetsci.co.uk/2010/02/27/introduction-to-optimal-foraging-theory> (consultato il 22/02/2018)
- Figura 27:** *cfr. Turner L. et al., 2000, in BIBLIOGRAFIA*
- Figura 28:** University of Montana  
Cooperative Ecosystem Studies Unit (CESU)  
"Cows Eat Weeds!" Project  
<http://www.cfc.umt.edu/cesu/projects/default.php> (consultato il 22/02/2018)
- Figura 29:** *cfr. Turner L. et al., 2000, in BIBLIOGRAFIA*
- Figura 30:** Deere & Company  
Precision Agriculture Technology  
<http://www.deere.com/en/technology-products/precision-ag-technology/> (consultato il 07/02/2018)
- Figura 31:** CEMA Association  
(European Agricultural Machinery Association)  
Precision Farming: key technologies & concepts  
<http://cema-agri.org/page/precision-farming-key-technologies-concepts> (consultato il 22/02/2018)
- Figura 32:** SEOS Project  
Science Education through Earth Observation for High Schools, European Commission  
<http://www.seos-project.eu/home.html> (consultato il 07/12/2017)
- Figura 33:** GOSAT Project  
Monitoring Greenhouse Gases from Space  
National Institute for Environmental Studies, Japan  
<http://www.gosat.nies.go.jp/en/> (consultato il 07/02/2018)
- Figura 34:** NERSC  
Nansen Environmental and Remote Sensing Center,  
Norway, SARCURE Project  
<http://www.nersc.no/project/sarcure> (consultato il 07/02/2018)
- Figura 35:** Tampere University of Technology  
TKT-2456 Wireless sensor networks  
<http://www.tkt.cs.tut.fi/kurssit/2456/wsnmotivation.html>  
(consultato il 07/02/2018)
- Figura 36:** DASH7 Alliance  
DASH7 Alliance Presentation  
<http://www.dash7-alliance.org/presentations/>  
(consultato il 07/02/2018)
- Figura 37:** *cfr. Garcia L. et al., 2009, in BIBLIOGRAFIA*
- Figura 38:** U.S. Department of Agriculture  
High-Tech Agriculture Continues to Reap Rewards for Farmers and Society  
<http://www.usda.gov/media/blog/2016/11/8/high-tech-agriculture-continues-reap-rewards-farmers-and-society>  
(consultato il 01/12/2017)
- Figura 39:** esiFarm / Libelium  
Smart strawberries crop increases the quality and reduces the time from farm to market  
<http://www.libelium.com/smart-strawberries-crop-increases-the-quality-and-reduces-the-time-from-farm-to-market/>  
(consultato il 07/02/2018)
- Figura 40:** *cfr. Lukkien J. et al., 2007, in BIBLIOGRAFIA*
- Figura 41:** SmaXtec GmbH  
Inside monitoring  
<http://www.smaxtec.com/en/inside-monitoring/>  
(consultato il 07/02/2018)
- Figura 42:** *cfr. Olufemi A. et al., 2013, in BIBLIOGRAFIA*
- Figura 43:** *cfr. Martinelli F. et al., 2015, in BIBLIOGRAFIA*
- Figura 44:** Opti-Sciences Inc.  
Chlorophyll Fluorometer OS30p+  
<http://www.optisci.com/os30p.html> (consultato il 15/11/2017)
- Figura 45:** Nasa Earth Observatory  
Ozone's Effects on Plants  
[http://earthobservatory.nasa.gov/Features/OzoneWeBreathe/ozone\\_we\\_breathe3.php](http://earthobservatory.nasa.gov/Features/OzoneWeBreathe/ozone_we_breathe3.php) (consultato il 08/02/2018)
- Figura 46:** *cfr. Mahlein A. et al., 2012, in BIBLIOGRAFIA*
- Figura 47:** Kesselmeier J. / Max Planck Institut,  
Emissione globale di VOC sul sito della ESPERE Project  
<http://klimat.czn.uj.edu.pl> (consultato il 21/02/2018)
- Figura 48:** *cfr. Iozzio C., 2014, in Bibliografia*
- Figura 49:** *cfr. Wilson A., Baietto M., 2009, in BIBLIOGRAFIA*
- Figura 50:** *cfr. Martinelli F. et al., 2015, in BIBLIOGRAFIA*
- Figura 51:** Techinsights.com  
STMicroelectronics LYPR540AH 3 Axis Analog Output Gyroscope (MEMS)

<http://techinsights.com/reports-and-subscriptions/open-market-reports/Report-Profile/?ReportKey=ICS-1002-803> (consultato il 08/02/2018)

**Figura 52:** Sharp Laboratories of Europe  
Health and medical device

[http://www.sle.sharp.co.uk/sharp/apps/sle-web/research/health\\_medical/index.html](http://www.sle.sharp.co.uk/sharp/apps/sle-web/research/health_medical/index.html) (consultato il 08/02/2018)

**Figura 53:** Royal Veterinary College  
LOCATE Project: Locomotion, hunting and habitat utilisation among large African carnivores and their prey

<http://www.rvc.ac.uk/research/research-centres-and-facilities/structure-and-motion/projects/locate-locomotion-hunting-and-habitat-utilisation-among-large-african-carnivores-and-their-prey> (consultato il 08/02/2018)

**Figura 54:** Infrared Birding

Finding birds and mammals with thermal infrared  
<http://infrared-birding.blogspot.it/> (consultato il 08/02/2018)

**Figura 55:** Biomark Inc.

Dispositivi RFID per utilizzo sottocutaneo  
[http://www.biomark.com/product\\_catalog/tags/](http://www.biomark.com/product_catalog/tags/) (consultato il 22/02/2018)

**Figura 56:** Missouri Department of Conservation  
Prairie chicken tracked on 1,165-mile journey in Missouri and Iowa

<http://mdc.mo.gov/newsroom/prairie-chicken-tracked-1165-mile-journey-missouri-and-iowa> (consultato il 08/02/2018)

**Figura 57:** *cfr.* la voce Lotek Inc. in SITOGRAFIA

**Figura 58:** Nadia de Souza / Mongabay.com  
Real-time monitoring: How timely location data can keep wildlife out of danger zones

<http://wildtech.mongabay.com/2015/06/real-time-monitoring-how-timely-location-data-can-keep-wildlife-out-of-danger-zones/> (consultato il 08/02/2018)

**Figura 59:** *cfr.* Al-Kaff A. et al., 2017, in BIBLIOGRAFIA

**Figura 60:** *cfr.* Ellen R. et al., 2005, in BIBLIOGRAFIA

**Figura 61:** Ardupilot

Open Source Autopilot e funzionamento della piattaforma APM Arducopter  
<http://ardupilot.com> (consultato il 01/02/2018)

**Figura 62:** Maxbotix Inc., Terabee France, EMR Lab Inc.

(a) Maxbotix Inc. ultrasonic UAV sensors  
<http://www.maxbotix.com/selection-guide/uav-applications.htm>  
(b) Terabee France Teraranger One distance measurement sensor  
<http://www.terabee.com/portfolio-item/teraranger-one/>  
(c) EMR Lab Inc. StareHD3D camera  
[http://www.emrlabs.com/?page\\_id=729](http://www.emrlabs.com/?page_id=729)  
(consultati il 22/02/2018)

**Figura 63:** *cfr.* la voce Qualcomm Inc. in SITOGRAFIA

**Figura 64:** *cfr.* Homung A. et al., 2013, in BIBLIOGRAFIA

**Figura 65:** Purdue University / e-Lab  
Smartphone to become smarter with 'deep learning' innovation

<http://www.purdue.edu/newsroom/releases/2014/Q1/smartphone-to-become-smarter-with-deep-learning-innovation.html> (consultato il 08/02/2018)

**Figura 66:** Nvidia Corp.  
Nvidia Jetson System

<http://www.nvidia.it/object/embedded-systems-dev-kits-modules-it.html> (consultati il 01/02/2018)

**Figura 67:** *cfr.* Nieuwenhuisen M. et al., 2016, in BIBLIOGRAFIA

**Figura 68:** *ibidem*

**Figura 69:** *ibidem*

**Figura 70:** Agribotix LLC  
Sensori NDVI e RGB

<http://agribotix.com/farmlens/> (consultato il 08/02/2018)

**Figura 71:** STARS Project  
Spurring a Transformation for Agriculture through Remote Sensing

<http://www.stars-project.org> (consultato il 01/12/2017)

**Figura 72:** GMX Consulting Ltd.  
Progetti di remote sensing dedicati all'agricoltura in Africa

<http://www.gmxconsulting.co.uk/track-record> (consultato il 08/02/2018)

**Figura 73:** Agribotix LLC  
SenseFly Solutions

<http://www.sensefly.com/> (consultato il 08/02/2018)

**Figura 74:** *cfr.* la voce Yamaha Motor Corp. in SITOGRAFIA

**Figura 75:** DJI Ltd.  
AGRAS MG-1, DJI's First Agriculture Drone

<http://www.dji.com/mg-1> (consultato il 08/02/2018)

**Figura 76:** Parrot SA

The Parrot Sequoia multispectral sensor  
<http://www.parrot.com/us/business-solutions/parrot-sequoia> (consultato il 08/02/2018)

**Figura 77:** Mapix Technologies

UAV LiDAR systems  
<http://www.routescene.com/the-3d-mapping-solution/uav-lidar-system/> (consultato il 08/02/2018)

**Figura 78:** University of California  
Mapping forests with Lidar provides flexible, accurate data with many uses Agriculture and Natural Resources

<http://calag.ucanr.edu/Archive/?article=ca.v069n01p14> (consultato il 08/02/2018)

**Figura 79:** *cfr.* SAGA Project in SITOGRAFIA

**Figura 80:** *cfr.* Morelli B., 2013, in BIBLIOGRAFIA

**Figura 81:** Cisco Systems

Dalla *Internet delle cose* alla *Internet* di ogni cosa  
<http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/enterprise/cisco-on-cisco/t-en-05112015-ioe-bigdata.html> (consultato il 22/02/2018)

**Figura 82:** Cornell Lab of Ornithology  
Citizen Science Program

<http://www.birds.cornell.edu/Page.aspx?pid=1671> (consultato il 01/02/2018)

**Figura 83:** Kent State University  
descrizione del progetto Seti@home sul sito del Department of Computer Science

<http://www.medianet.kent.edu/surveys/IAD04F-P2Papplications-amit/p2pa.html> (consultato il 08/02/2018)

**Figura 84:** Carnegie Mellon University  
reCAPTCHA Project sul sito della CyLab Security & Privacy Institute

<http://www.cylab.cmu.edu/partners/success-stories/recaptcha.html> (consultato il 01/10/2017)

**Figura 85:** *cfr.* Concheri G. et al., 2017, in BIBLIOGRAFIA

**Figura 86:** Progetto Fertimento, Università di Padova  
in SITOGRAFIA

**Figura 87:** *cf.* Concheri G. et al., 2017, in BIBLIOGRAFIA

**Figura 88:** *cf.* Progetto Fertimento, Università di Padova  
in SITOGRAFIA

**Figura 89:** *cf.* Progetto Sensuolo, Università di Padova  
in SITOGRAFIA

**Figura 90:** Open Electronics  
RandA: Merging Raspberry Pi and Arduino  
<http://www.open-electronics.org/randa-merging-raspberry-pi-and-arduino/> (consultato il 08/02/2018)

**Figura 91:** *cf.* Progetto Sensuolo, Università di Padova  
in SITOGRAFIA

**Figure 92-112:** Autore

**Figura 113:** ANPE - Asociación Nacional de Profesionales de la Enseñanza  
Temario de procesos de producción agraria  
<http://studylib.es/doc/8151004/temario-de-procesos-de-produccion-agraria> (consultato il 10/11/2017)

**Figura 114:** Marcelo Calazans  
Projeto cria mangueiro inspirado em manejo criado por autista nos EUA  
<http://www.campograndenews.com.br/rural/projeto-cria-mangueiro-inspirado-em-manejo-criado-por-autista-nos-eua> (consultato il 10/11/2017)

**Figura 115:** Autore

**Figura 116:** *cf.* FAO, 2006, in BIBLIOGRAFIA

**Figura 117:** Embrapa Cerrados / C-Lock Inc.  
Cocho automatizado mede gases de efeito estufa na bovinocultura  
<http://www.embrapa.br/cerrados/busca-de-noticias/-/noticia/2361332/cocho-automatizado-mede-gases-de-efeito-estufa-na-bovinocultura> (consultato il 01/12/2017)