

# Metodologie didattiche e informazioni scientifiche per un insegnamento del Carbon Footprint.

Massimo Margotti

## Introduzione

L'apprendimento di un tema come il Carbon Footprint richiede, allo studente, la disponibilità a mettere in gioco differenti competenze disciplinari. Essendo un tema globale, la sua analisi comporta valutazioni non solo in campo scientifico, ma anche economico, politico e sociale. Fornire gli strumenti di comprensione scientifica del problema consente allo studente di porsi delle domande in merito al ruolo attivo dell'uomo rispetto al fenomeno dei cambiamenti climatici.

Il tema del Carbon Footprint porta a riflettere sui comportamenti del singolo individuo e si innesta direttamente sulla vita quotidiana e sui comportamenti abituali delle persone, allargandosi ad una riflessione più ampia sui sistemi sociali e politici. Il coinvolgimento globale che il tema del Carbon Footprint comporta, trattandosi di effetti che interessano l'intero sistema climatico, richiede di trovare forme di espressione che permettano allo studente di poter trasmettere ciò che ha appreso utilizzando delle forme linguistiche che superino quelle tradizionali, codificate, dell'apprendimento scolastico.

Per questo motivo, un approccio espressivo artistico può aiutare il singolo a riferire, attraverso canali linguistici nuovi, le informazioni che ha ricevuto come nozione tecnica di base e che ora fanno parte del proprio patrimonio culturale.

Prima di affrontare la metodologia utilizzata per predisporre lo studente alla trasmissione delle informazioni ricevute e all'apprendimento tramite coinvolgimento diretto, sviluppo di relazionalità e partecipazione, è necessario definire e

presentare una serie di informazioni scientifiche di base che costituiranno il riferimento scientifico culturale di conoscenza standardizzata a disposizione dello studente.

## Il "Carbon Footprint"

Il termine tecnico Carbon Footprint è stato coniato durante le rilevazioni fatte a livello globale per capire quale sia il contributo umano all'aumento dei gas serra in atmosfera e quali le possibili conseguenze di tale comportamento sul riscaldamento globale (*Global warming*).

Per comprendere il fenomeno è necessario chiarire cosa sia l'effetto serra, quale sia la situazione climatica odierna rispetto alla precedente, cosa sia accaduto in passato in situazioni climatiche analoghe a quella attuale e quali siano i parametri di rischio.

## L'effetto serra (*conoscenze scientifiche di base*)

Quasi tutta l'energia disponibile sulla superficie del nostro pianeta deriva dal Sole tramite le radiazioni elettromagnetiche; solo una parte della radiazione elettromagnetica solare filtra attraverso l'atmosfera. La fascia d'Ozono situata sopra le nostre teste, ad una distanza di circa 14 Km, impedisce che la componente più energetica arrivi al suolo. La componente principale della radiazione elettromagnetica che penetra nell'atmosfera è detta componente Visibile,

e costituisce quella che comunemente chiamiamo luce e che sappiamo poter essere scomposta nei colori dell'iride. Fenomeno ben noto è, ad esempio, la scomposizione della luce bianca attraverso il passaggio in un prisma<sup>1</sup> che genera uno spettro di colori dal violetto, la componente più energetica, al rosso, la componente meno energetica. Non tutti i sistemi visivi del mondo animale sono uguali. E' noto che i gatti sono dotati di un'ottima visione notturna in quanto sono in grado di rilevare una parte delle radiazioni meno energetiche del rosso che all'uomo non sono visibili se non attraverso strumentazioni come termo-camere. L'atmosfera è sostanzialmente trasparente alla radiazione elettromagnetica della zona del visibile, questa componente luminosa riesce a penetrare fino alla superficie terrestre dove è in parte assorbita e in parte riflessa. I colori degli oggetti corrispondono alle componenti dello spettro luminoso che vengono riflesse. La parte di radiazione che viene assorbita può essere restituita come componente meno energetica e quindi componente infrarossa. La radiazione infrarossa è quella responsabile dei moti vibrazionali di tutte le molecole e quindi dell'aumento di temperatura delle sostanze. *Un'applicazione di questo fenomeno è rappresentata dal forno a microonde, che emette una radiazione elettromagnetica nell'infrarosso in grado di attivare i moti vibrazionali delle sole molecole d'acqua, producendo il riscaldamento di tutti i corpi che contengano molecole d'acqua.*

Se l'atmosfera fosse trasparente alla radiazione infrarossa, quest'ultima si disperderebbe direttamente fuori dal nostro pianeta. Tuttavia, se così fosse avverrebbe un raffreddamento della superficie terrestre che, a sua volta, resterebbe permanentemente congelata.

---

<sup>1</sup> Si tratta dello stesso fenomeno dell'arcobaleno, in cui le goccioline d'acqua sospese svolgono il ruolo di un prisma.

**L'atmosfera non è trasparente all'infrarosso** grazie ai **Gas Serra**; ovvero composti chimici che assorbono questa componente in atmosfera e ne riflettono una parte in direzione della Terra. L'energia radiativa associata alla radiazione infrarossa resta quindi in parte intrappolata nell'atmosfera causando un riscaldamento di tutte le sostanze in grado di assorbirla. L'aumento dei gas serra ovviamente provoca un incremento dell'energia trattenuta e quindi un aumento della temperatura globale. *Il fenomeno dell'effetto serra è noto da molto tempo e prende il suo nome dalle serre agricole, in cui la temperatura resta alta anche in inverno, grazie all'effetto trappola operato da materiali trasparenti alla luce visibile, ma non alla componente infrarossa che resta intrappolata nella serra, riscaldandola (GHE: GreenHouse effect, GHG: GreenHouse Gas).*

## **I gas serra e il concetto di equivalente**

I gas serra riconosciuti sono: anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), il vapore acqueo (H<sub>2</sub>O), il metano (CH<sub>4</sub>), l'ossido nitroso (N<sub>2</sub>O), l'esafluoruro di zolfo (SF<sub>6</sub>), gli idrofluorocarburi (HFCs) e i perfluorocarburi (PFCs). I quantitativi presenti in atmosfera sono monitorati anche per misurare l'impatto delle emissioni prodotte dall'uomo. Dato che il principale gas serra immesso in atmosfera è l'anidride carbonica, l'organismo internazionale che si occupa permanentemente dello stato del clima (IPCC) ha stabilito di riportare tutte le emissioni rispetto ad un'unica unità di misura, che è definita dalle emissioni di anidride carbonica.

Dato il gas di riferimento, anidride carbonica, a parità di quantitativo immesso, è necessario valutare quanto sia maggiore il contributo all'effetto serra da parte di un gas.

La tabella di conversione riporta i valori di GWP (Global Warming Potential) di un gas serra.

Gas effetto serra	Formula chimica	GWP <sub>100</sub>
Anidride carbonica	CO <sub>2</sub>	1
Metano	CH <sub>4</sub>	25
Ossido nitroso	N <sub>2</sub> O	298
HFCs	–	124-14800
Esfluoruro di zolfo	SF <sub>6</sub>	22800
PFCs	–	7390-12200

Figura 1 Global Warming Potential

Ad esempio si fissa quello dell’anidride carbonica ad “1” e si stabilisce quale sia il potere degli altri gas serra. L’esfluoruro di Zolfo (SF<sub>6</sub>) è un gas serra molto potente, ha un GWP pari a 22800 circa, questo significa che una tonnellata di gas SF<sub>6</sub> sarà stimata come 22800 tonnellate di CO<sub>2</sub>.

In questi termini il Carbon footprint è la **misura di tonnellate “equivalenti”** di anidride carbonica prodotte per ogni singolo individuo.

Va specificato che il termine **Carbon Footprint** è anglosassone e che molti altri paesi preferiscono utilizzare nella propria lingua il termine **impronta climatica**.

## Comportamenti geo-oceanico-atmosferici: un sistema complesso

Non tutti i sistemi rispondono a una sollecitazione in modo lineare, ovvero in modo che esista una proporzionalità costante tra sollecitazione fornita al sistema e risposta del sistema.

Molti sistemi si comportano in questo modo, altri presentano una relazione più complessa tra sollecitazione e risposta del sistema che resta ancora perfettamente deterministica, ma altri potrebbero fornire delle risposte inattese o, cambiando la sollecitazione di poco, si può ricevere una risposta molto diversa dalla prima.

In questi casi ci si trova di fronte a un sistema complesso e l’abilità di esercitare un controllo sugli equilibri di tale sistema è estremamente ridotta. A volte è possibile

solo scommettere in base alla probabilità che la risposta sia di un certo tipo o di un altro.

**Alla domanda se il sistema climatico sia un sistema complesso, la risposta è sì!**

Il sistema climatico presenta tutte le caratteristiche di un sistema complesso quale ad esempio **l’organizzazione gerarchica**. Quando alcuni sistemi elementari si organizzano dando vita a una struttura organizzata la cui funzionalità non sono la semplice somma della parti, ovvero quando il risultato finale non è desumibile dal semplice componente, allora si dice che si è introdotto un grado di gerarchia.

La struttura climatica è condizionata dal comportamento delle sue parti: **gli oceani, la superficie terrestre e l’atmosfera**. Il modo con cui il clima risponde dipende, primariamente, non dal singolo componente, ma dal delicato equilibrio che sussiste tra le tre parti principali che compongono la struttura climatica e dalla velocità differente con cui queste si adattano ai cambiamenti reciproci.

**La superficie terrestre** è uno degli attori in gioco, cambia durante l’anno e la risposta in termini di riscaldamento dipende dal colore della superficie stessa. Due scenari importanti sono rappresentati dalla “parte verde” e dalla “parte bianca”. La prima favorisce la diminuzione dei gas serra; le piante sono, infatti, degli assorbitori di anidride carbonica. Tramite la fissazione del carbonio per la sintesi di molecole organiche (fotosintesi) sottraggono forti quantitativi di gas serra dall’atmosfera.

La seconda, la “parte bianca”, composta principalmente da ghiacciai e poli, funziona come uno specchio e riflette la radiazione elettromagnetica del visibile, che riattraverserà l’atmosfera sfuggendo alla terra senza essere stata trasformata in radiazione infrarossa e quindi in calore. La radiazione solare incidente si ripartisce nel seguente modo:

- Il 33% circa è riflessa all'indietro dal pianeta (suolo e oceani) a lunghezze d'onda maggiori, sotto forma di infrarossi.
- Il 24% circa è assorbita dall'atmosfera.
- Il 43% circa è assorbita dalla superficie terrestre.

A tale proposito si parla di **albedo** terrestre. Con il termine albedo ci si riferisce alla proprietà riflettente di una superficie, massima per una superficie bianca e quasi nulla per una superficie nera. Ogni superficie ha una propria albedo come ad esempio le piante riflettono la componente verde della luce. Quindi è necessario considerare l'equilibrio che esiste sulla superficie terrestre tra le varie componenti su cui l'uomo può intervenire, ad esempio diminuendo il disboscamento. Un altro elemento importante della superficie terrestre sono le **catene montuose** che deviano le correnti atmosferiche influenzando in modo importante sui climi locali e rendendo meno prevedibili i comportamenti atmosferici. Sebbene il rimodellamento della crosta terrestre sia molto lento rispetto a fenomeni di tipo atmosferico, bisogna tenere presente la sua variabilità su scale di tempi più lunghi quando si analizza la storia climatica. Anche le modifiche che l'uomo realizza sui corsi d'acqua influiscono sui climi locali, in questo caso l'intervento dell'uomo può modificare l'albedo di macro aree portando anche a fenomeni di desertificazione.

Un secondo attore fondamentale nel determinare l'equilibrio climatico sono gli **oceani**. L'acqua è il principale assorbitore di anidride carbonica; l'equilibrio chimico in soluzione vapore favorisce la fase in soluzione del gas serra. In questa fase l'anidride carbonica forma acido carbonico legandosi all'acqua.

Questo fenomeno comporta, anche, l'acidificazione degli oceani con conseguenze sulla flora e fauna oceanica, come testimonia il decremento della barriera corallina che viene sciolta dall'acido carbonico.

Si calcola che gli oceani assorbano fino al 90% dell'anidride carbonica disponibile in atmosfera costituendone il principale serbatoio.

Inoltre gli oceani sono un serbatoio di calore a lento rilascio rispetto all'atmosfera e alla superficie terrestre e recentemente l'IPCC ha dichiarato che gran parte della radiazione assorbita arriva a riscaldare anche oltre i 700 metri di profondità, alterando la temperatura media di fasce oceaniche con conseguenze sull'habitat marino.

Il terzo attore direttamente coinvolto è l'**atmosfera** che risponde al cambiamento di equilibrio del sistema climatico producendo perturbazioni di varia entità. Anche in questo caso va considerato che la presenza di nuvole nel cielo riduce l'irraggiamento solare che attraversa l'atmosfera e quindi influisce sui livelli di riscaldamento globale.

Le relazioni che legano l'equilibrio tra queste tre componenti **non sono lineari**, ovvero non sono rappresentate da rette, e questo comporta effetti anche contro intuitivi, risposte inattese o imprevedibili che possono essere anche molto violente. Per avere una descrizione dettagliata del fenomeno sarebbe necessario descrivere tutte le modalità con cui i gas serra possono essere nel tempo immagazzinati e depositati dalla natura. Ad esempio l'anidride carbonica può essere immagazzinata sotto forma di sali minerali all'interno di microfratture delle rocce, che la sottraggono all'equilibrio sul breve periodo rendendola però nuovamente disponibile su tempi più lunghi. In quanto sistema complesso, il sistema climatico prevede fenomeni di

**adattamento**<sup>2</sup> che sono anche i responsabili di oscillazioni periodiche millenarie della temperatura, a cui il nostro pianeta è sottoposto. Un esempio di risposta adattativa potrebbe essere quella che vede, a seguito di un eccessivo surriscaldamento, una risposta climatica violenta che culmina nel “Global Cooling”, ovvero in una era di glaciazione.

## Principali fonti di produzione di gas serra

La domanda principale su quali siano le cause dell’aumento dei gas serra in atmosfera vede, come risposta attuale, il fattore antropico, cioè l’uomo. Questo ha portato a definire gli ultimi 150 anni come Antropocene, ovvero l’era in cui l’azione dell’uomo può determinare cambiamenti di equilibri importanti per la vita sul pianeta. Le modifiche climatiche e delle temperature globali, avvenute in ere passate, sono riconducibili a fenomeni cataclismatici come l’eruzione di grandi vulcani, che eruttarono molte ceneri in atmosfera, o la caduta di meteoriti, che impattando e sollevando polveri riducono la radiazione solare capace di penetrare l’atmosfera portando ad un abbassamento delle temperature.

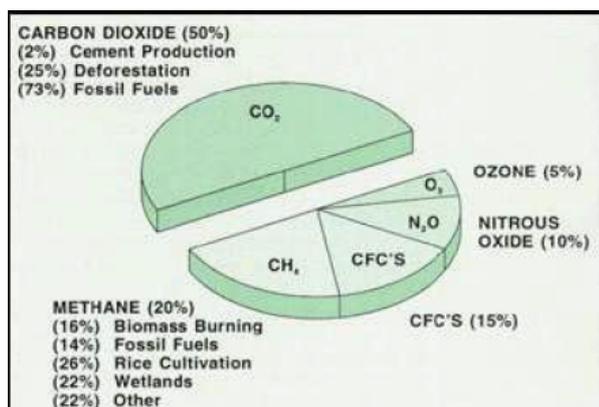


Figura 2 *Composizione percentuale di gas serra e loro principali fonti di emissione.*

Ad esempio l’attività vulcanica ha registrato un aumento nel periodo antecedente la piccola età glaciale che va dal XIV al XIX secolo (non viene definita “era” in quanto la durata del periodo fu molto breve).

Come riportato in Figura 2, l’immissione principale di gas serra in atmosfera è costituita dall’anidride carbonica che vede come principale causa di produzione antropica il comparto energetico. Le principali fonti di combustibile fossile responsabili della produzione di anidride carbonica sono:

- 42% Petrolio
- 36% Carbone
- 22% Gas naturale

Se si considera la percentuale di anidride carbonica in atmosfera, nell’era industriale (dal 1800 ad oggi) si è registrato un aumento da 220 ppm<sup>3</sup> a 360 ppm, ovvero se su un milione di molecole in atmosfera prima c’erano 220 molecole di anidride carbonica, oggi ce ne sono 360. I numeri possono apparire molto piccoli ma, come detto prima, spostare di poco l’equilibrio in un sistema complesso può portare a conseguenze drastiche.

Si stima che attualmente vengano emesse in atmosfera circa 27 Gt (27000000000000 kg = 27 10<sup>12</sup> kg) di CO<sub>2</sub> all’anno, che, divisi per la popolazione mondiale, equivalgono a circa 27 tonnellate a persona. Il livello di anidride carbonica attuale in atmosfera risulta essere il più alto dell’ultimo milione di anni, e il suo tasso di crescita è di circa 2 ppm all’anno, 60 volte più veloce della media dell’ultimo periodo geologico, senza contare che è in accelerazione. Questo ultimo dato è forse il più allarmante poiché si discosta dalle oscillazioni naturali relative alle concentrazioni di gas serra in atmosfera registrate dalle analisi effettuate in Antartide.

<sup>2</sup> Con il termine adattamento si intende la capacità di un sistema di co-evolvere assieme ai cambiamenti ambientali che lo circondano.

<sup>3</sup> (ppm) parte per milione

Il secondo Gas serra massicciamente immesso in atmosfera è il metano prodotto da giacimenti, agricoltura e allevamenti:

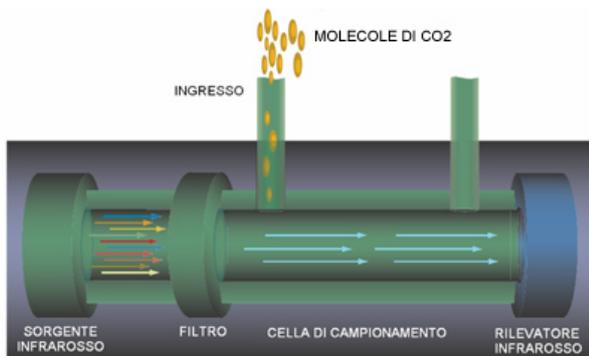
- 23% Paludi
- 20% Combustibili fossili
- 17% Digestione bestiame
- 12% Risaie
- 28% Biomasse/discariche

Nel caso del metano l'aumento in atmosfera degli ultimi 200 anni è valutato intorno a 1 ppm, una molecola su un milione. Anche se la variazione può sembrare minima, potrebbe essere sufficiente a modificare gli equilibri.

## Come rilevare la concentrazione dei Gas serra

Vi sono diversi tipi di misure dirette e indirette per rilevare la concentrazione di anidride carbonica in atmosfera tenendo conto dell'equilibrio che il gas ha con la forma disciolta negli oceani.

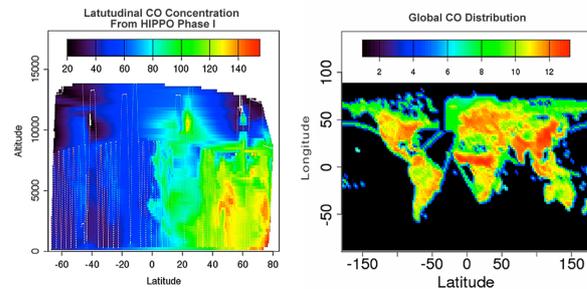
Il metodo principe è quello della rilevazione diretta della concentrazione di CO<sub>2</sub> in una porzione di aria. Dato che ogni gas ha un proprio spettro di assorbimento, ovvero assorbe a precise frequenze dell'infrarosso, la sua concentrazione può essere rivelata tramite **spettrometria a gas**. (Fig. 3)



**Figura 3** Modello di uno spettrometro a gas: la luce infrarossa passa attraverso la cella di campionamento dell'aria; maggiore è la luce registrata dal rilevatore, minore la concentrazione di CO<sub>2</sub>

Una cella con una porzione d'aria viene illuminata con una luce infrarossa relativa alle frequenze di assorbimento dell'anidride carbonica; al lato opposto della cella è posto

un rivelatore di luce infrarossa: maggiore è la concentrazione di anidride carbonica, meno trasparente sarà la porzione d'aria analizzata e minore sarà la luce che arriva al rivelatore. Tramite un sistema di taratura è possibile risalire alla concentrazione.



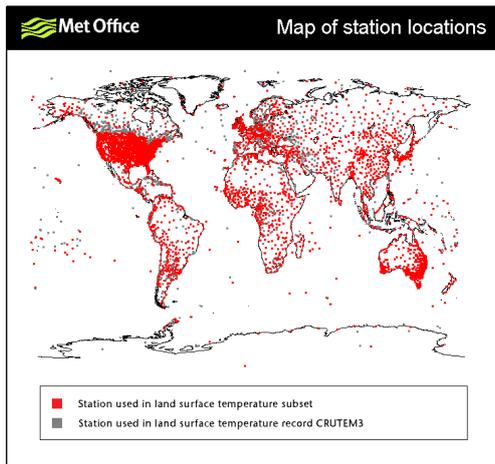
**Figura 4** Dati di rilevazione della concentrazione di monossido di carbonio ad opera dell'esperimento HIPPO. Il rilevamento diretto di temperature a varie altitudini permette di avere una validazione della correlazione tra concentrazione dei gas serra e temperature medie globali. Le temperature alla superficie possono essere raccolte da una fitta rete di termometri mentre quelle in atmosfera da radiosonde o da satelliti<sup>4</sup>.

A tal proposito si può menzionare l'esperimento HIPPO<sup>5</sup> che consiste in un'investigazione, a varie altitudini, effettuata da un aereo che viaggia da polo a polo sull'emisfero occidentale (continente americano). Sull'aereo si trovano celle di spettrometria che analizzano l'aria con alta periodicità e monitorano la distribuzione di anidride carbonica nell'atmosfera. Esperimenti come questo rivelano una maggiore concentrazione del gas serra nell'emisfero boreale, zona a più alta industrializzazione.

<sup>4</sup>

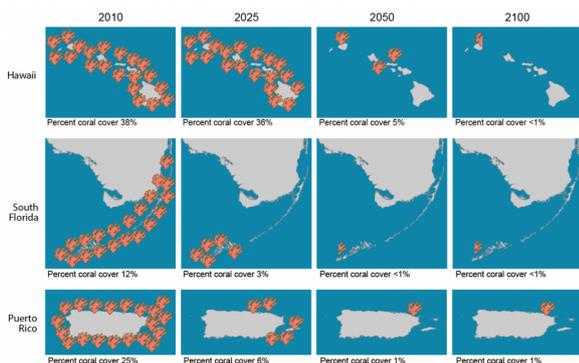
<http://wires.wiley.com/WileyCDA/WiresArticle/wi sid-WCC80.html>

<sup>5</sup> <http://hippo.ucar.edu/index.html>



**Figura 5** Distribuzione di stazioni termometriche per la rilevazione delle temperature alla superficie utilizzate dall'IPCC. L'incertezza su queste misure sarà collegata alla capacità di una radiosonda di predire la temperatura di terra di cui si ha una misurazione diretta tramite termometro.

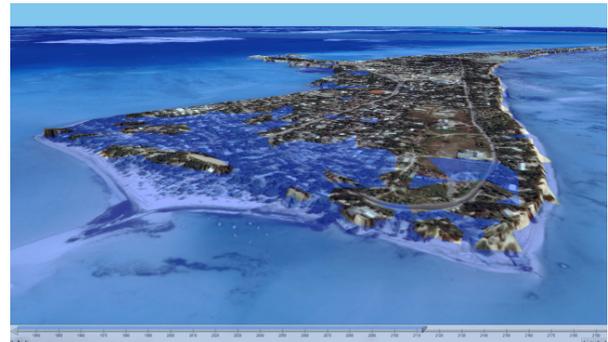
Dato che il discioglimento in acqua dell'anidride carbonica comporta la formazione di acido carbonico è possibile valutare i livelli di anidride carbonica misurando i **valori di acidità** degli oceani. Gli effetti dell'acidificazione sono ben visibili a livello delle barriere coralline, dove l'acido carbonico riesce a sottrarre il calcio delle barriere provocando la scomparsa dei coralli.



**Figura 6** L'immagine mostra il progressivo depauperamento della barriera corallina a seguito dell'acidificazione degli oceani rispettivamente alle Hawaii, nel sud della Florida e a Puerto Rico.

Per verificare un aumento di temperatura si possono anche realizzare misure di **salinità**; a seguito del riscaldamento è infatti in atto una maggiore evaporazione dell'acqua che comporta un aumento di salinità delle acque oceaniche e in

particolare dei mari più chiusi come il Mediterraneo.



**Figura 7** Proiezione degli effetti dell'innalzamento dei livelli delle acque oceaniche sull'isola principale di Kiribati

Anche il rilevamento dei **livelli di altezza dell'acqua sulle zone costiere** permette una valutazione dello scioglimento dei ghiacciai e una misurazione indiretta della temperatura globale media annuale. L'allarme lanciato dal Presidente della Repubblica di Kiribati mette in evidenza il rischio della scomparsa della propria nazione entro il 2100 a causa dell'innalzamento dei livelli d'acqua in Oceania.

Una delle misure principali che permette di valutare le temperature delle varie ere geologiche<sup>6</sup> è il **carotaggio dei Ghiacci Antartici**.



**Figura 8** Alcune carote di ghiaccio prelevate a profondità differenti e indicative di ere geologiche differenti.

<sup>6</sup> Il primo termometro risale all'inizio del XVII secolo ed è dovuto a Galileo Galilei

Attraverso trivellazioni a profondità differenti dei ghiacciai antartici è possibile misurare la quantità di gas serra contenuti nel ghiaccio.

Utilizzando dei modelli matematici che calcolano la quantità che per diffusione si è persa nel tempo, è possibile risalire alle concentrazioni di gas serra presenti in atmosfera al tempo della formazione dello strato di ghiaccio e quindi alla temperatura dell'epoca.

## IPCC e i criteri di valutazione

L'**IPCC**<sup>7</sup> (Intergovernmental Panel on Climate Change) è il principale organo intergovernativo che si occupa dei cambiamenti climatici. Creato dal WMO<sup>8</sup> (World Meteorological Organization) e da UNEP<sup>9</sup> (United Nations Environment Programme) è stato riconosciuto dall'ONU e oggi conta 195 paesi affiliati. La sua struttura organizzativa prevede 3 gruppi di lavoro e delle task force operative.

- **I gruppo di lavoro (WGI):** si occupa della raccolta, organizzazione e valutazione dei dati scientifici.
- **II gruppo di lavoro (WGII):** si occupa prevalentemente di valutare i rischi dei cambiamenti climatici sia naturali che socio-economici prevedendo scenari futuri.
- **III gruppo di lavoro (WGIII):** si occupa di valutare gli interventi possibili sulla base degli scenari predetti proponendo soluzioni per mitigare l'azione dell'uomo come l'immissione di gas serra.
- **Task Force sugli inventari nazionali:** si occupa del monitoraggio delle immissioni di

gas serra da parte delle singole nazioni.

- **TGICA:** un task group che si occupa della diffusione dei dati e delle informazioni per facilitare le attività di ricerca e creare una rete di informazione tra i tre gruppi di lavoro principali.

Regolarmente l'IPCC fornisce un report sullo stato del clima e delinea scenari possibili a seconda delle valutazioni basandosi sulle scelte politiche in merito a energia, agricoltura, industria e commercio. L'IPCC inoltre promuove tavoli intergovernativi per accordi su scala globale che mirino alla riduzione dell'immissione dei gas serra. Le previsioni avanzate sono culminate nella stesura del protocollo di Kyoto. Si tratta di un tavolo intergovernativo di leggi per la riduzione delle immissioni di gas serra, firmato nel 2005 e la cui validità è stata estesa fino al 2020.

Stati europei	Evoluzione emissioni gas serra 1990-1999	Obiettivi 2008-2012 secondo Kyoto
Austria	+2,6%	-13%
Belgio	+2,8%	-7,5%
Danimarca	-4,6%	-21,0%
Finlandia	-1,1%	0,0%
Francia	-0,2%	0,0%
Germania	-18,7%	-21%
Grecia	+16,9%	+25,0%
Irlanda	+22,1%	+13,0%
<b>Italia</b>	<b>+4,4%</b>	<b>-6,5%</b>
Lussemburgo	-43,3%	-28,0%
Paesi Bassi	6,1%	-6,0%
Portogallo	+22,4%	+27,0%
Spagna	+23,2%	+15,0%
Svezia	+1,5%	+4,0%
Regno Unito	-14%	-12,5%
Totale UE	-4%	-8%

Figura 9 Valutazioni e obiettivi delle emissioni di gas serra in atmosfera per ogni singola nazione. In azzurro l'Italia

Gli accordi stabiliscono un massimale di produzione di quote di gas serra per ogni singolo paese sulla base della popolazione, con la possibilità, da parte dei paesi meno industrializzati, di vendere le quote di aria pulita a quelli più industrializzati. E' stata stabilita una valuta globale detta Carbon Credit, e ogni paese dispone di un equivalente di valuta in base alla quota assegnata.

<sup>7</sup> <http://www.ipcc.ch>

<sup>8</sup> <https://public.wmo.int/en>

<sup>9</sup> <http://www.unep.org>

L'Italia per rientrare nei limiti di legalità compra Carbon Credit da paesi meno industrializzati allo stesso modo delle altre nazioni ricche.

Sebbene il clima sia un sistema complesso è possibile, sulla base dei dati in possesso dall'uomo, utilizzare alcuni modelli matematici per prevedere differenti scenari futuri in base alle scelte che i governi prenderanno.

Attualmente si valuta un aumento di temperatura a partire dal 1880 di circa 0.85°C, un aumento che appartiene alle normali oscillazioni termiche del pianeta. Se si considera che durante il periodo dell'Optimum romano, circa 2000 anni fa, le temperature risultavano ancora maggiori rendendo possibile la viticoltura in Gran Bretagna, le temperature attuali non sembrano un fattore di preoccupazione.

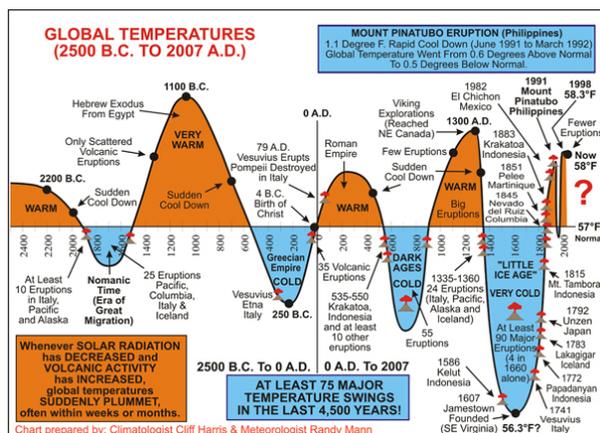


Figura 10 In figura sono mostrate le temperature ottenute da misure indirette in Antartide degli ultimi 4000 anni. Come si vede sia durante l'optimum romano che nel basso Medioevo si toccavano temperature equivalenti a oggi o maggiori.

Tuttavia va considerato che l'aumento demografico ha portato alla crescita della popolazione costiera e delle isole comportando un aumento del rischio abitativo anche su piccole scale di cambiamento di temperatura. Il fattore a cui si presta maggiore attenzione è la velocità con cui la temperatura media globale sale, essa non ha precedenti e sembra essere correlata primariamente al fattore antropico

dell'utilizzo dei combustibili fossili e gas naturali.

Le conseguenze previste dall'IPCC dipingono scenari anche catastrofici in funzione delle iniziative politiche che saranno adottate dalle nazioni.

Nella valutazione sugli scenari politici che concorreranno a prendere decisioni, vengono presi in considerazione vari tipi di fattori, come l'incremento demografico, che farebbe variare la produttività introducendo un aumento di gas serra in atmosfera; le previsioni e le scelte di politica economica<sup>10</sup>, che potrebbero favorire politiche ecologiche e ambientali mirate alla riduzione di emissioni o a una diminuzione della deforestazione. Al contrario politiche industriali aggressive potrebbero aumentare i livelli dei gas serra.

Le previsioni sui consumi energetici tengono in considerazione la sostituzione di fonti di combustibili fossili con fonti energetiche alternative:

- Nucleare
- Fotovoltaico
- Idroelettrico
- Geotermico
- Eolica
- Biomasse

Anche l'utilizzo di camere a combustione più efficienti è tenuto in considerazione, in modo da diminuire i gas serra prodotti a parità di combustibile bruciato, oppure l'utilizzo di ossigeno (O<sub>2</sub>) al posto dell'aria massimizzando l'efficienza dei sistemi attuali.

Un altro elemento che viene preso in considerazione è la stabilità politica dei paesi e gli equilibri internazionali; infatti in caso di conflitto le normative sul clima non sarebbero rispettate dai paesi belligeranti provocando un aumento della produzione di equivalenti di CO<sub>2</sub>. Si tiene conto anche del fattore comunicativo e della sensibilizzazione al

<sup>10</sup> A inizio giugno 2017 le dichiarazioni di Donald Trump, presidente degli USA, annunciavano la disertazione degli Stati Uniti agli accordi di Parigi finalizzati alla ratifica del protocollo di Kyoto.

**risparmio energetico** che influirebbe direttamente sui consumi pro-capite, indipendentemente dalle scelte dallo Stato di appartenenza.

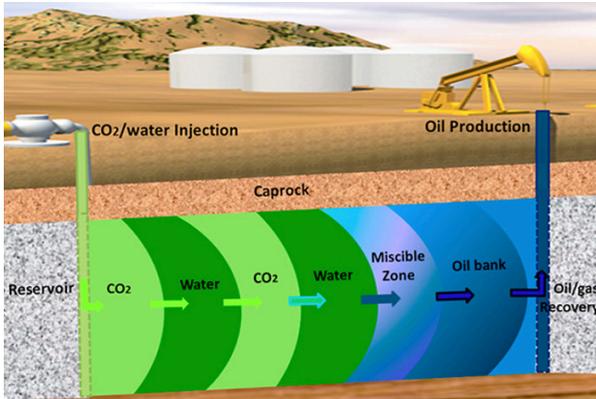


Figura 11 In figura appare un metodo di stoccaggio di anidride carbonica all'interno di un pozzo petrolifero non ancora esausto, attraverso il pompaggio di CO<sub>2</sub>. Sarebbe anche possibile facilitare l'estrazione del materiale residuo sfruttando al massimo la riserva.

Anche l'utilizzo di **sistemi di stoccaggio di anidride carbonica** sono iniziative suggerite dal terzo gruppo dell'IPCC: una soluzione che prevede di portare l'anidride carbonica allo stato solido e stoccarla, o di confinarla in giacimenti sotterranei esausti e sui fondali oceanici. Dato che l'anidride carbonica è più pesante dell'acqua, resterebbe confinata sui fondali per molto tempo creando laghi di CO<sub>2</sub> sotto le acque dell'oceano.

A fronte di queste parametrizzazioni si deve sottolineare la difficoltà nella valutazione effettiva delle produzioni attuali di gas serra:

- Non tutti i sistemi industriali hanno uno standard uguale di valutazione (questo significa che alcuni paesi potrebbero sottovalutare l'impatto ambientale nella produzione dei gas serra, unico parametro tenuto in considerazione)
- Non tutte le industrie rilasciano i dati di produzione di gas serra
- In caso di esternalizzazione di servizi è difficile valutare la responsabilità effettiva di una

industria sul quantitativo di Carbon Footprint del prodotto venduto

- Difficile monitorare il comportamento del consumatore sul sistema di riciclaggio

Tutte queste variabili creano ovviamente una grossa incertezza sugli scenari possibili che tuttavia sono prevedibili in funzione dell'aumento reale di temperatura che si verificherà.

Gli scenari individuati prevedono diversi effetti che possono anche essere catastrofici se la temperatura dovesse aumentare di 5°C.

## I rischi climatici

Nelle previsioni dell'IPCC sulle conseguenze climatiche, i fattori tenuti in principale considerazione a seconda dell'aumentare della temperatura globale sono sia di natura atmosferico-fisico che socio economico.

L'aumento di temperatura comporta una variazione delle precipitazioni atmosferiche che si intensificherebbero diventando a carattere tropicale in paesi a clima temperato. Questo determinerebbe la formazione di **uragani di maggiore intensità e con maggiore frequenza** in zone abitualmente non interessate dal fenomeno, come il Mediterraneo. Va considerato anche **l'aumento di siccità della zona equatoriale** con conseguente aumento della desertificazione che diminuirebbe l'albedo complessiva di molti territori aumentando a sua volta il riscaldamento globale.

L'aumento della siccità avrebbe ripercussioni notevoli sull'agricoltura e comporterebbe un aumento dei prezzi delle risorse agricole determinando un **aumento della malnutrizione** a livello mondiale.

L'incremento di precipitazione a carattere tropicale e lo scioglimento dei ghiacciai comporterebbe un innalzamento dei livelli delle acque marine e oceaniche,

**sommerso ampie zone di costa e intere isole.** A sua volta questo comporterebbe fenomeni di **migrazione di massa** in direzione di territori dell'entroterra con spopolamento delle zone costiere e pressioni sui confini nazionali.

Un'altra conseguenza potrebbe essere la **diffusione di malattie tropicali** a seguito delle migrazioni di massa e dello spostamento delle zone climatiche in cui vivono abitualmente i vettori delle malattie (un caso tipico è la malaria in cui la zanzara del genere *Anopheles* potrebbe ritornare a colonizzare l'Europa).

Bisogna tenere inoltre in considerazione effetti catastrofici nel caso l'aumento di temperatura diventi eccessivo

## **Il limite della predittività**

Gli scenari previsti dall'IPCC dipendono dalle temperature che saranno raggiunte. La capacità di prevedere quale temperatura si raggiungerà nei prossimi cento anni è tuttavia caratterizzata da un errore molto grande che rende la previsione compatibile con la temperatura attuale, ovvero con nessun aumento di temperatura. Tuttavia non va trascurato il fatto che la previsione sia centrata su valori di rischio che potrebbero comportare situazioni catastrofiche con effetti a catena di immissione di gas serra fino a generare un aumento incontrollato della temperatura globale.

Se ad esempio la temperatura superasse i 5° C si avrebbe uno scioglimento del permafrost, superficie terrestre perennemente ghiacciata, che comporterebbe una diminuzione di albedo. Si teme che molti giacimenti di gas serra situati al di sotto del permafrost potrebbero riversarsi in atmosfera. Anche l'evaporazione dell'acqua sarebbe tale da aumentare il vapore acqueo in atmosfera che fungerebbe da gas serra.

Queste eventualità comporterebbero un ulteriore aumento della temperatura

superficiale del pianeta con conseguente scioglimento di ghiacci polari.

L'acqua così derivante dai poli costituirebbe un nuovo serbatoio per i gas serra che sarebbero assorbiti in tempo non prevedibile, conducendo però ad una loro eccessiva riduzione in atmosfera. Questa forte diminuzione improvvisa porterebbe ad un raffreddamento della terra, conducendola ad una lunga era glaciale che metterebbe a rischio la sopravvivenza della specie.

Questa possibilità che non rappresenta uno scenario improbabile, anche perché già accaduto in ere precedenti, ha spinto la politica a interrogarsi se intervenire o meno sui fattori antropici che sembrano responsabili dei livelli di gas serra.

Le principali ritrosie derivano dal fatto che non vi è certezza scientifica su quali potranno essere le reali conseguenze nel mantenere i livelli attuali d'immissione di gas e che la scelta politica di scommettere su nuove forme di produzione ed economia, abbandonando le vecchie strategie, risulti costosa e competitiva.

## **Considerazioni generali sui dubbi economici e politici**

Si può comprendere con facilità che grandi nazioni soffrano il fatto di dover convertire velocemente il proprio sistema industriale, soprattutto considerando che i danni previsti sarebbero a principale carico e svantaggio di altre zone del pianeta. Si considerino ad esempio la Russia e l'Alaska che vedrebbero, dallo scioglimento del permafrost, il guadagno di vaste zone popolabili e produttive, oggi disabitate; oppure la condizione della Cina che si trova a dover scegliere un piano di conversione costoso quanto quello degli USA pur non essendo direttamente responsabile dell'aumento dovuto ai "boom industriali" sia americani che europei. Ovviamente quei paesi virtuosi, che in tempi meno sospetti hanno attivato politiche ecologiche nella produzione di beni, sarebbero avvantaggiati nella concorrenza sui prezzi

della produzione, non dovendo affrontare ora una conversione industriale. Altri paesi, che invece di basare la propria economia sul settore secondario si sono focalizzati su quello terziario (servizi), soffrirebbero principalmente le conseguenze derivate dal settore energetico e i rincari dei prodotti agricoli. Tali considerazioni sono alla base degli accordi e dei disaccordi del protocollo di Kyoto.

## Metodologie didattiche

Le metodologie utilizzate all'interno dei percorsi didattici proposti vertono sull'insegnamento delle competenze per la vita. Le scelte didattiche si inquadrano in un percorso finalizzato a stimolare gli studenti a utilizzare l'intelligenza analitica, creativa e pratica attraverso strategie relazionali, lavori di gruppo, problem solving, e responsabilizzazione diretta rispetto alla realizzazione di una parte del progetto di gruppo. La spinta a mettere in gioco la propria intelligenza emotiva lasciando la libertà della valutazione delle forme espressive, e l'emergere di talenti personali in campi linguistici creativi, accolti e valorizzati dal gruppo stesso, sono aspetti che costruiscono un percorso di apprendimento multi stratificato che porta una sedimentazione forte e duratura nei partecipanti. Verranno di seguito presentati i tre percorsi paralleli, mettendo in evidenza gli aspetti educativi maggiormente significativi emersi in ciascuno di essi.

## Stimolare l'intelligenza analitica

Il materiale esposto finora è stato oggetto di presentazione e discussione con le classi della scuola secondaria. Accantonando la pretesa che tutte le informazioni fornite diventassero patrimonio culturale memorizzato dagli studenti, l'obiettivo è stato rendere chiari i meccanismi principali

del tema del Carbon Footprint. Da qui i partecipanti sarebbero partiti per la progettazione e realizzazione di opere d'arte.

I concetti chiave su cui si volevano sensibilizzare gli studenti sono: l'effetto serra, il rischio che comporta un cambiamento climatico, l'incertezza e le perplessità sulle scelte economico-politiche da fare.

La presentazione scientifica del problema aveva alcuni scopi principali:

- Acquisire un insieme di nozioni scientifiche di base e la consapevolezza che il problema posto abbia un fondamento di valutazione logico-analitico basato sul confronto con situazioni precedenti.
- Far comprendere come il tema sia trasversale alle scienze sperimentali, coinvolgendo elementi di fisica, chimica e biologia e di come le soluzioni e gli scenari studiati avessero coinvolto anche le discipline tecnologiche, economiche e legislative.
- Fornire la **consapevolezza** di poter scegliere in quale forma contribuire attraverso la modifica dei propri comportamenti quotidiani, sensibilizzando lo studente a una maggiore attenzione verso il consumo energetico individuale.
- Stimolare una coscienza critica rispetto alle scelte politiche ed economiche, far capire che un popolo informato può far valere i propri **diritti di cittadinanza** e può stimolare i rappresentanti a prendere una posizione allineata al proprio pensiero.

## Il problema e il progetto

Di fronte a un problema di dimensioni globali il singolo individuo non può che provare un senso di inadeguatezza, a

questo si aggiunge il fatto che eventuali decisioni dirette siano demandate, in ultima analisi, alla politica e quindi a un piano che in giovane età corre il pericolo di rimanere astratto in termini operativi, rischiando di portare alla sensazione di impotenza e frustrazione.

Per questo motivo i tre artisti coinvolti si sono collocati sullo stesso piano degli studenti, dovendo anche loro porsi per la prima volta il problema della fondatezza scientifica del dubbio sul rischio climatico. In questa fase l'apprendimento del tema è stato comune tra artisti e studenti, creando **la condizione di solidarietà e compassione** reciproca che ha permesso l'instaurarsi di un dialogo diretto.

Il passo successivo è stato spostare la questione **dalla sua dimensione globale**, complessa e frustrante, dove l'unica azione pratica sembrava rimandare al comportamento individuale rispetto al risparmio energetico, **a una dimensione locale, pratica e realizzabile**: creare un'opera d'arte che trasferisse e comunicasse il tema del "Carbon Footprint".

Il piano comunicativo rende aggredibile l'aspetto globale poiché individua nella diffusione di informazioni una via percorribile e appare una azione naturale e comune nell'era dei nativi digitali. La frustrazione viene risolta con la libertà di espressione.

## Stimolare l'intelligenza creativa

Prima di agire bisogna avere tutti gli strumenti e organizzare il lavoro. Poiché il piano su cui ci si deve confrontare è quello dell'arte, si sono mostrate opere sia personali, sia di artisti famosi. Si è potuto così introdurre i partecipanti nello spazio più ampio della libertà immaginativa e delle possibilità linguistiche.

Questa operazione ha consentito di entrare in sintonia con alcuni elementi caratteriali degli studenti che, di fronte a lavori di arte contemporanea, hanno cominciato a

intuire come il tema del Carbon footprint, e qualsiasi altro tema, potesse essere affrontato con forme nuove e meno standardizzate.

Successivamente si è chiesto agli studenti di produrre idee sulla modalità espressiva, di individuare quale "media" utilizzare, identificare quali abilità personali fossero disposti a mettere in gioco: musicali, organizzative, di disegno, di scrittura poetiche o di fiction. E' stato loro chiesto di suggerire quali aspetti del problema climatico li avessero maggiormente coinvolti. L'esposizione delle opere e del lavoro dell'artista è stata da stimolo e sfida a competere sul piano creativo.

Di seguito sono presentate le tre fasi di progettualità dei percorsi intrapresi dai gruppi guidati dagli artisti: a) Mariagrazia Pontorno b) Elena Bellantoni c) Matteo Nasini.

- a. Nel caso del progetto educativo seguito dall'artista Mariagrazia Pontorno il percorso è iniziato con la richiesta di generare **collettivamente** una serie di parole chiave che riguardassero il tema del Carbon Footprint. Ne sono state selezionate circa quaranta. Sono state lette apparentemente scollegate l'una dall'altra.

*Gamification, competenze digitali, individuare collegamenti, intelligenza emozionale*

È stato chiesto a ciascun ragazzo di fornire, come compito autonomo da svolgere in un momento di libertà, i titoli di dieci canzoni che contenessero nel testo una delle parole selezionate. Scaricarne il video e inviarlo attraverso sistemi di trasferimento on line e su cloud evitando la posta elettronica. Il compito assegnato ha reso il ragazzo libero di presentare se stesso attraverso le proprie inclinazioni musicali e di **associare autonomamente un momento ludico**, come l'ascolto di una canzone conosciuta, **a uno dei concetti scientifici** trattati nella parte di presentazione del tema.

### *Responsabilità, rispetto*

Successivamente la scelta corale e democratica di alcune parole avrebbe portato a restringere il campo d'azione sui concetti a esse collegate, promuovendo una maggiore focalizzazione su alcuni aspetti che sarebbero entrati a far parte di un bagaglio profondo e presente lungo l'arco della vita.

- b. Nel percorso scelto da Elena Bellantoni l'artista ha proposto la realizzazione di un video sul tema della complessità del sistema clima. Ha applicato una strategia **project based learning**.

### *Lavoro intragruppale*

Ha chiesto alle classi di organizzarsi autonomamente, in base alle loro ascendenze caratteriali, in gruppi di lavoro misti finalizzati a elaborare proposte motivate, riguardanti singoli aspetti della realizzazione del video:

- gruppo trucco-parruccho, abiti
- gruppo location
- gruppo coreografie
- gruppo colonna sonora
- gruppo logistica

La strutturazione in team di lavoro misti ha richiesto a membri di classi diverse di relazionarsi direttamente riguardo alle proposte fatte e ha fornito un'impronta auto-organizzativa che ricalca la reale forma lavorativa.

### *Brainstorming, discussione intragruppale*

Le proposte **individuali** sono state elaborate a livello **intragruppale** con l'uso della **tecnica del brainstorming** e, successivamente, presentate e vagliate a livello **intergruppale**, in modo da selezionare le proposte che fossero maggiormente condivise tra i membri delle due classi.

### *Rispetto delle proposte e valutazione motivata*

Questa parte di confronto ha portato alcuni componenti, nominati come portavoce, a confrontarsi con l'idea di pubblico e a superare la timidezza caratteriale a favore di una discussione

generale sulle proposte. Esprimere le motivazioni della scelta di una location come un campo da calcio, un parco, un cortile che avesse dei collegamenti con la propria quotidianità piuttosto che con l'idea elitaria di luogo (il campo sotto casa meglio dell'Olimpico) ha permesso di introdurre la società da loro conosciuta come elemento qualificante del video e di responsabilizzarsi nel presentare e difendere le proposte avanzate dagli altri.

- c. Il percorso seguito dall'artista Matteo Nasini ha stimolato i ragazzi a cercare di rendere materiale, tangibile, sensibile il soggetto apparentemente immateriale del tema: i gas serra.

### *Competenze virtuali*

A tal scopo i ragazzi sono stati sfidati a mettere in gioco le loro **competenze virtuali** e a indagare l'esistenza di applicazioni per personal computer e smartphone che potessero permettere di avvicinarsi all'intangibilità di un gas trasparente. La sfida consisteva nel passaggio dal virtuale al reale, come poter rendere oggettivo quello di cui si era parlato. L'artista ha lasciato che gli studenti scoprissero che cosa la rete mettesse loro a disposizione (senza prepararli o illuderli di aver trovato la soluzione), provassero delusione e ricominciassero, raffinando la ricerca fino a trovare il materiale più idoneo.

### *Sfida virtuale, gioco*

Questo approccio, a parte stimolare una ludica gara di ricerca, ha permesso ai ragazzi di rendersi conto dell'enorme quantità di strumenti virtuali presenti in rete in relazione al tema, costringendoli a navigare su siti dedicati al Carbon footprint e a interfacciarsi con una serie di tool finalizzati al calcolo dello stesso. Una valutazione delle domande poste da questi misuratori virtuali **ha spinto e stimolato a ulteriori approfondimenti**.

Tuttavia i calcolatori di Carbon Footprint hanno limiti di attendibilità

nella misurazione, in quanto si rivolgono maggiormente ad aspetti come viaggi, trasporti, consumi domestici e abitudini alimentari, risultando più adatti all'uso di un adulto che ha responsabilità e autonomia di spesa nell'ambito dei consumi, piuttosto che ad un ragazzo che non ha la stessa autonomia sulle scelte di vita.

#### *Scoprire, stupirsi, imparare ad imparare*

Questa fase d'indagine e utilizzo ha attivato elementi di **sorpresa e stupore** nel momento in cui i risultati dei consumi erano espressi in tonnellate alla settimana.

L'idea di produrre tonnellate di materia invisibile ha portato alla scelta di utilizzare una termocamera in modo da rendere visibile, se non l'anidride carbonica, almeno la **radiazione infrarossa**.

La ricerca si è spostata sulle termocamere applicabili a smartphone, adatte a riprese amatoriali, mentre una parte della classe visionava video ad infrarossi presenti su internet per vedere le potenzialità dello strumento e pensava a quale soggetto poter riprendere.

#### *Cooperazione, solidarietà, lavoro intergruppo*

Individuati lo strumento e il progetto, le classi sono state divise in gruppi, ciascuno dei quali doveva proporre idee circa le riprese da effettuare. In questa fase lo stimolo principale era la domanda: che cosa vorresti vedere?

La definizione dei soggetti del video è stata realizzata individualmente e poi sottoposta a una valutazione del gruppo di lavoro; almeno una proposta di ogni gruppo di lavoro sarebbe stata realizzata, impegnando tutti i partecipanti a collaborare per realizzare le idee di tutti in un sistema di **solidarietà e rispetto** per la curiosità degli altri.

## **Stimolare l'intelligenza pratica**

La fase di realizzazione delle opere ha costituito un momento di sintesi tra la fase progettuale creativa e la fase di apprendimento e trasferimento di nozioni base sul tema del Carbon Footprint.

La possibilità di mettere a disposizione strumenti, strutture, tempo e competenze ha permesso ai ragazzi di sentirsi in grado di realizzare il progetto, oltreché valorizzati nelle scelte. Tutte le esperienze condotte dai tre artisti, Maria Grazia Pontorno, Elena Bellantoni e Matteo Nasini hanno visto il coinvolgimento diretto dei ragazzi nella realizzazione, facendoli diventare soggetto centrale dell'opera di apprendimento.

Il dover partecipare alla fase di realizzazione ha portato **autonomamente** i partecipanti a sviluppare parametri di giudizio sul modo in cui si realizza un girato, sui **limiti temporali** a disposizione e sui **limiti ambientali ed economici**.

Rispetto alla fase creativa precedente in questa fase pratica i ragazzi hanno dovuto riflettere sull'importanza dei vincoli e hanno dovuto ricercare soluzioni pratiche alternative che permettessero il superamento degli imprevisti.

Di seguito è riportato come nella fase finale di realizzazione delle tre esperienze si siano incrociati vari elementi di apprendimento ed educazione:

Maria Grazia Pontorno b) Elena Bellantoni c) Matteo Nasini.

- a. Nell'esperienza condotta con l'artista Maria Grazia Pontorno, la via scelta, dopo una discussione sulla possibilità di realizzare l'opera in forma video o audio, posti i limiti e i tempi di realizzazione dell'opera, è stata quella di creare un audio musicale, in cui i ragazzi sono stati protagonisti di musiche, testo e voce.

#### *Riconoscimento del talento, leadership, e condivisione delle conoscenze*

In questo caso i partecipanti si sono spontaneamente affidati ai talenti personali di alcuni elementi del

gruppo, suddividendosi in maniera autonoma i compiti: chi selezionava i concetti da esprimere, chi realizzava il testo, chi componeva, e chi selezionava le voci. La disponibilità di una sala d'incisione ha permesso di sostenere l'impresa.

#### *Fiducia, sostegno*

La discussione su come presentare il lavoro audio, la selezione di uno speaker e di un amplificatore appositi sono elementi che hanno convinto i ragazzi dell'investimento di risorse sulla loro progettualità. La presentazione del progetto, sfruttando una parabola del '700 per realizzare uno schema di riflessione, ha aperto un nuovo paragrafo scientifico che è stato materia di discussione in classe.

#### *Autorganizzazione, gestione delle risorse temporali e materiali, responsabilizzazione*

La parte più educativa è stata stabilire una organizzazione e una tempistica di realizzazione. I ragazzi hanno spontaneamente chiesto di formulare un elenco di domande di approfondimento in relazione alle parole chiave precedentemente selezionate sul tema del Carbon footprint da sottoporre all'esperto scientifico per registrare le risposte e individuare chiaramente i concetti da esprimere nel testo. Il ragionamento si è mosso su più piani e ha lasciato aperte più possibilità di intervento, tra cui quella di inserire direttamente la voce registrata.

#### *Acquisizione e interpretazione dell'informazione*

Questa ultima possibilità è stata scartata a vantaggio di un prodotto musicale scevro da tecnicismi confortanti, espressi nelle risposte dell'esperto e frutto della loro libera ri-espressione e riformulazione dei concetti.

- b. Nell'esperienza condotta con l'artista Elena Bellantoni sono stati messi a disposizione dei

partecipanti due sistemi di ripresa e due tecnici, il primo per le riprese da terra con videocamera, il secondo per le riprese aeree con drone. Inoltre sono state fornite tute in carta bianca e occhiali a protezione UV per la simulazione di una realtà omologata da emergenze ambientali, come richiesto dai gruppi di lavoro. Anche in questo caso l'affiancamento di competenze pratiche è servito da stimolo, curiosità e sostegno al lavoro dei partecipanti.

La realizzazione del progetto prevedeva spostamenti ricorsivi per la realizzazione di una coreografia decisa dal gruppo di lavoro, che simulasse il passaggio da una forma più caotica a una razionale come binomio della complessità, riproducendo il comportamento autorganizzativo dei sistemi complessi.

#### *Adattamento, superamento degli ostacoli*

Un elemento inatteso, durante la giornata di riprese, ha posto la difficoltà dell'utilizzo del drone nella location stabilita, il Parco degli Acquadotti. E' stato necessario individuare un luogo alternativo riparato dal vento. Autonomamente i partecipanti hanno risposto promuovendo luoghi al chiuso o luoghi all'aperto riparati, interrogando il pilota del drone sulle condizioni necessarie per le riprese e mostrando **capacità di ascolto, di rielaborazione e motivazione pratica.**

Durante la realizzazione delle riprese i partecipanti si sono adattati alle esigenze, cercando di rispettare i tempi contingentati per la realizzazione del video.

#### *Autorganizzazione, learning by doing*

La realizzazione del video prevedeva la rappresentazione di un sistema autorganizzato, spostamenti verso una figura di gruppo nota ma in cui non erano stati stabiliti i posti

dei singoli individui. Ovviamente per esigenze di tempo si sono provati entrambi i movimenti, quello senza coreografia stabilita, che ha portato a un più lungo, caotico e difficile raggiungimento del risultato, e quello con passaggi prestabiliti. L'esercizio ha stimolato una riflessione sul fatto che i sistemi complessi raggiungano uno stato organizzato senza un prestabilito piano di aggregazione degli elementi, e ha portato a una più intima comprensione del ruolo della velocità dei fenomeni della natura come parametro di analisi dei fenomeni stessi.

Guardare alle intelligenze umane come organizzatrici e ordinatrici, capaci di portare a un raggiungimento rapido dello scopo.

#### *Partecipazione, inclusione*

Il fatto che tutti i partecipanti al percorso formativo fossero attori del video ha permesso di sentirsi protagonisti dell'opera e ha fatto emergere attenzioni e responsabilità nell'interagire anche con alcuni membri del gruppo portatori di disabilità.

- c. Nell'esperienza condotta con l'artista Matteo Nasini si è deciso di effettuare riprese indoor con una termocamera gestibile tramite dispositivo smartphone. La disponibilità a fornire questa strumentazione e il materiale ludico sperimentale ha permesso di instillare **fiducia e motivazione nei partecipanti**.

#### *Gamification*

I partecipanti hanno preso confidenza con lo strumento **giocando** con la termocamera per vedere che tipo di risposta desse agli ambienti, anche se le riprese vere e proprie sono state realizzate dall'artista.

I partecipanti sono stati ripresi durante piccoli esperimenti **ludici**

che hanno coinvolto oggetti freddi, caldi e piccoli fenomeni di combustione.

Negli esperimenti realizzati dai partecipanti sono stati utilizzati acqua, ghiaccio, ghiaccio secco (anidride carbonica allo stato solido) e azoto liquido.

#### *Individuare collegamenti, stimolare la curiosità*

L'utilizzo di questi elementi refrigeranti non solo ha coinvolto in giochi tutti i membri delle classi, ma ha permesso loro di dare una fisicità all'anidride carbonica e di **approfondire altri temi scientifici** sui passaggi di stato, cristallizzazione, conservazione delle cellule e sull'utilità tecnologica di sostanze a così bassa temperatura (-78°C il ghiaccio secco, azoto liquido -196°C).

#### *Collaborazione, partecipazione*

Le riprese hanno coinvolto i ragazzi in qualità di attori e hanno permesso il dialogo diretto tra i membri di classi diverse creando una chiara atmosfera di condivisione.

### **Le opere e il loro impatto come forma di trasmissione di informazione scientifica**

Uno dei punti focali per la riuscita del progetto è che le opere prodotte abbiano la proprietà di inglobare e trasmettere alcune delle informazioni scientifiche mostrate nella prima fase, quella di presentazione del tema del Carbon Footprint nei suoi aspetti scientifici, economici, politici e storici.

La rilevanza di tale aspetto consiste nel riuscire ad apprendere, rielaborare, trasmettere e ri-esprimere in modo condivisibile messaggi e informazioni sul tema trattato. In questo modo si può valutare il grado di consapevolezza raggiunto, non solo sulla tematica in sé, ma dell'individuo stesso in rapporto a un percorso processuale.

La forma esperienziale che ha coinvolto tutte le classi, attraverso momenti di lavoro grupale e di libertà espressiva individuale, non può che fissarsi e sedimentarsi come forma di apprendimento nell'individuo. La realizzazione del lavoro e il riconoscimento del risultato costituiscono una forma di rinforzo positivo nell'autostima dei ragazzi.

Vediamo ora le opere una ad una e le informazioni scientifiche trasmesse.

### **“Black Flower “**

***Maria Grazia Pontorno***

L'opera *Black Flower* è costituita da uno speaker posto in corrispondenza del fuoco di una parabola<sup>11</sup> risalente al '700 e che serviva da specchio ustorio. Questa parabola è direzionata verso una parabola gemella<sup>12</sup>.

Le due parabole allineate riflettono la voce dello speaker che trasmette una canzone composta appositamente dai partecipanti. Possiamo cogliere due elementi principali che veicolano temi scientifici che si ricollegano alle nozioni apprese nella parte di presentazione scientifica del tema.

- Il primo è nella riflessione del suono tra le due parabole, una parte di esso resta intrappolato nel cilindro immaginario di aria che le collega; questo meccanismo di riflessione rispecchia lo stesso meccanismo che avviene in atmosfera ad opera dei gas serra, che assorbono e riemettono la radiazione infrarossa (ovviamente il suono essendo un'onda meccanica, e non elettromagnetica, funziona come elemento di analogia) mantenendola intrappolata nell'atmosfera.

---

<sup>11</sup> Oggi i due specchi ustori sono conservati presso il museo di Fisica del Dipartimento di Fisica dell'Università la Sapienza di Roma.

<sup>12</sup> La capacità di riflettere le varie frequenze dipende dall'elasticità della parabola e dalle dimensioni, essendo in ottone e di diametro di 72 cm tenderanno a riflettere meglio le note più acute

- Un secondo elemento consiste nelle parole della canzone che esprimono, assieme alla musica, non solo la parte emozionale degli autori, ma riportano elementi scientifici all'ascoltatore informandolo della discussione che è in atto sui rischi dei cambiamenti climatici.

### **“Metronimia, Figure di un Sistema Complesso “**

***Elena Bellantoni***

L'opera *Metronimia, Figure di un Sistema Complesso* si focalizza sul concetto che il clima è un sistema complesso. Questa infatti è l'affermazione, estratta da un articolo scientifico comparso su *Science*, che si può ascoltare nella traccia audio del video. La voce che pronuncia il testo è robotica. Il video proiettato vede i protagonisti vestiti con tute bianche e occhiali protettivi, mentre si muovono alternandosi tra la composizione di due figure: un quadrato che fornisce un'idea di ordine e di cristallo, e una spirale che simboleggia l'idea di non linearità e caos. Le postazioni in cui le persone si collocano per formare le figure non sono state assegnate in origine. Come audio del video, oltre alla voce che parla della complessità del clima, c'è il rumore di un metronomo che scandisce velocità differenti. Di fronte alla proiezione video è installato un sistema basculante con sopra dei metronomi che, attivati non sincronizzati, possono, in virtù della non linearità della loro interazione permessa dal meccanismo basculante, sincronizzarsi<sup>13</sup> per un certo periodo.

Gli elementi scientifici che emergono dall'opera sono tutti diretti a sottolineare il fenomeno della complessità. Lo statement scientifico letto di sottofondo nel video li raccoglie attorno al clima per trasmettere quanto la nostra capacità predittiva sia limitata dalla natura stessa del fenomeno.

---

<sup>13</sup> Questo fenomeno è noto in letteratura come la ricorrenza di Fermi-Pasta-Ulam-Tsingou.

- Un primo elemento che emerge è rappresentato dalle figure prodotte nel video che rappresentano un fenomeno di **struttura gerarchica**: i singoli elementi non contengono la forma prodotta.
- Un secondo elemento è l'**autorganizzazione**: parte delle riprese iniziali sono state effettuate senza assegnazione di un posto predefinito e i partecipanti conoscevano solo la forma finale da raggiungere, così come gli spostamenti da una figura all'altra sono caotici e non ripercorrono le stesse orbite.
- Un terzo elemento è dato sia dal fatto che la coreografia oscilla tra due figure, come fanno le reazioni oscillanti in chimica<sup>14</sup>, sia dall'esperimento di sincronizzazione dei metronomi, esempi di fenomeni regolati da equazioni **non-lineari**.

### “Ricreazione Termica “

**Matteo Nasini**

L'opera *Ricreazione Termica* consiste in una proiezione effettuata su una teca che contiene del fumo. Le immagini proiettate sono le riprese effettuate durante la realizzazione di alcuni esperimenti con materiali refrigeranti. Per le riprese è stata utilizzata una termocamera capace di distinguere le variazioni di temperatura. Gli elementi che si collegano agli aspetti scientifici trattati sono:

- L'utilizzo di una videocamera sensibile agli infrarossi, ovvero la radiazione responsabile dell'effetto serra.
- Il modo in cui il fascio proiettato sul fumo si disperde all'interno della teca e viene riflesso ripropone il comportamento della componente elettromagnetica dell'infrarosso riflessa dai gas serra dell'atmosfera.

- La forma incerta dell'immagine che resta su questo schermo di fumo si collega direttamente all'incertezza sui possibili scenari futuri, e alla riflessione se l'allarme per il cambiamento climatico in atto sia gestibile dall'uomo.

### La leggibilità delle opere

L'installazione delle opere all'interno dello spazio espositivo del MAXXI (Museo delle Arti del XXI Secolo) ha permesso di verificare la leggibilità delle opere da parte di un pubblico ampio e di verificare la capacità dei partecipanti di ritrovare nelle opere degli altri gruppi gli elementi caratterizzanti il tema del Carbon Footprint.

Il momento di concretizzazione delle opere e di confronto tra i gruppi ha costituito un'occasione di rafforzamento delle conoscenze a grande impatto emozionale. Questi ultimi elementi sono significativi della forza di un'esperienza di apprendimento che coinvolge in prima persona lo studente. L'attività svolta pone il ragazzo non solo davanti a una riflessione sul problema del Carbon Footprint ma anche di fronte alla consapevolezza di essere partecipe di una discussione che coinvolge la sfera politica, economica, oltre che scientifica, della società.

Acquisire le competenze per poter valutare se allinearsi o meno alle scelte globali che verranno prese nelle sedi intergovernative contribuisce al processo di acquisizione dei diritti di cittadinanza e rientra negli aspetti importanti della formazione individuale e relazionale, competenze necessarie per una migliore vita sociale.

### **BIBLIOGRAFIA SINTETICA**

-Wolfgang Behringer, **Storia culturale del clima (dall'età glaciale al riscaldamento globale)**, Bollati Boringhieri 2015

<sup>14</sup> Note come reazioni oscillanti di Belousov-Zhabotinsky

-Alfonso Molina e Maria Mannino,  
**Educazione per la vita ed inclusione  
digitale**, Erickson, 2016  
-IPCC **Fifth Assessment Report**  
<http://www.ipcc.ch/report/ar5/>